

ISSN 2073-7408

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

1 (351) 2022

Редколлегия
Главный редактор
Радченко С.Ю. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:
Барсуков Г.В. д-р техн. наук, проф.
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук,
проф.
Поляков Р.Н. д-р техн. наук, проф.
Шоркин В.С. д-р физ.-мат. наук, проф.

Члены редколлегии:
Бухач А. д-р техн. наук, проф. (Польша)
Голеньков В.А. д-р техн. наук, проф.
(Россия)
Дьяконов А.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Запонец Я. д-р техн. наук, проф. (Чехия)
Зубчанинов В.Г. д-р техн. наук, проф.
(Россия)
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Кузичкин О.Р. д-р техн. наук, проф.
(Россия)
Кухарь В.Д. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Лавриненко В.Ю. д-р техн. наук, проф.
(Россия)
Ли Шэнбо. канд. техн. наук, доц. (Китай)
Мирсалимов В.М. д-р физ.-мат. наук, проф.
(Азербайджан)
Мулюкин О.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Пыльченко О.В. д-р техн. наук, проф.
(Россия)
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Савин Л.А. д-р техн. наук, проф.
(Россия)
Смоленцев В.П. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Солдаткин В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Старовойтов Э.И. д-р физ.-мат. наук, проф.
(Беларусь)
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Хейфец М.Л. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)

Ответственный секретарь:
Тюхта А.В. канд. техн. наук

Адрес редакции
302030, Орловская обл., г. Орел, ул.
Московская, 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898
http://oreluniver.ru
E-mail: radsu@rambler.ru

Зарег. в Федеральной службе по
надзору в сфере связи,
информационных технологий и
массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-67029
от 30 августа 2016 года

Подписной индекс **29504**
по объединенному каталогу
«Пресса России»
на сайтах www.pressa-ru и www.aks.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

Содержание

Колонка главного редактора

К 75- летию Владимира Сергеевича Шоркина.....	3
К 50- летию Геннадия Валерьевича Барсукова	4

Теоретическая механика и ее приложения

Хромов Е.В., Морева И.Н., Морев Д.С. Предварительная оценка элементов судна, связанных с обеспечением его управляемости	5
Попов И.П. Составляющие механической мощности при гармонических воздействиях	9
Бохонский А.И., Варминская Н.И., Рыжков А.И. Оценка энергоёмкости минимального принуждения целенаправленного движения объекта.....	15
Шоркин В.С., Ромашина С.Н., Хорошилова М.В., Тинякова Е.В. Расчет дефектности материала при однородном напряженно-деформированном состоянии	21

Механика деформируемого твердого тела, динамика и прочность

Морева И.Н., Хромов Е.В., Морев Д.С. Динамика воздействия морского волнения на полупогружные платформы	29
Поддубный А.А., Гордон В.А., Потураева Т.В., Леонов Д.С. Динамический отклик системы «балка – основание» на внезапное трещинообразование	40

Машиностроительные технологии и оборудование

Неменко А.В., Никитин М.М. Предотвращение хрупкого разрушения заготовки при сверлении.....	50
Кравченко И.Н., Карцев С.В., Кузнецов Ю.А., Курдюмова Л.Н., Панков Г.Б. Диагностирование остаточных напряжений в напыленных и оплавленных покрытиях	56
Ткаченко А.Н., Данильченко С.Г., Петрухин А.В., Шамрин А.В. Исследование процесса прерывистого выглаживания плоских поверхностей электротехнических деталей из меди, обработанных комбинированным способом	62
Фроленкова Л.Ю., Селемев М.Ф., Новиков А.Д., Олейник А.С. Градиентная теория упругости прочности пленок эпиламов при адгезионном контакте.....	68
Головин В.И., Радченко С.Ю. Конечно-элементное моделирование процесса сверления полимерных биоконструкций, армированных натуральными волокнами.....	74
Гаршин А.Ю., Латышев В.Ю. Оценка дисперсий времени выполнения операций по проверке работоспособности и восстановлению технического средства при его диагностировании в послеаварийной ситуации.....	79
Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Кожус О.Г., Селемеева Е.М., Прасолов Е.А. Изучение влияния морфологии абразивных частиц медного шлака на скорость и глубину гидроабразивного резания для создания нового абразива повышенной прочности	86

Машиноведение и мехатроника

Бухаров К.Д., Кудров М.А., Рыбак Л.А. Моделирование динамики роботизированной платформы подвижности на базе электроцилиндров для тренажерных комплексов.....	94
Корнаев А.В., Шутин Д.В., Казаков Ю.Н. Классические системы управления в регулируемых опорах жидкостного трения	103
Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Горин А.В., Токмакова М.А., Родичева И.В. Анализ и предпосылки создания мехатронного подшипника с контролируемым износом	110
Корнаев А.В., Поляков Р.Н., Настепанин К.К., Фетисов А.С. Диагностика состояния опор роторных машин по данным инфракрасных изображений.....	119
Савин Л.А., Козырев Д.Л., Горин А.В., Токмаков Н.В. Моделирование и оптимизация работы механической релаксационной рычажной виброзащитной системы	124
Воробьев В.И., Дорофеев О.В., Измеров О.В., Злобин С.Н., Пугачев А.А., Николаев Е.В. Развитие классификации механической части тяговых приводов локомотивов.....	130

Приборы, биотехнические системы и технологии

Голубова Н.В., Дрёмин В.В., Потапова Е.В., Дунаев А.В. Мультимодальная лапароскопическая система для оценки перфузии и метаболизма биологических тканей... ..	139
Гайнуллина Я.Н., Пашиков Е.В., Калинин М.И., Полищев В.П., Сопин П.К., Четвёркин А.А. Исследование работоспособности элементов систем жизнеобеспечения биологических объектов в реализации технологий жидкостного дыхания.....	148
Денгаев А.М., Дайзиев З.М. Применение структурного подхода к проектированию интеллектуальной системы прогнозирования заболеваний	154

Контроль, диагностика, испытания и управление качеством

Гаршин А.Ю. Методика прогнозирования и определения причин изменения технического состояния диагностируемого технического средства в сложных условиях эксплуатации	159
Цыбрий И.К., Коваль Н.С., Игнатенко В.И., Вяликов И.Л., Родичев А.Ю. Определение относительной погрешности коэрцитиметра при неразрушающем контроле качества изделий из твердых сплавов.....	165

Editorial Committee

Editor-in-chief

Radchenko S.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief Assistants:

Barsukov G.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Podmasteryev K.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Polyakov R.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Shorkin V.S. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof.

Member of editorial board:

Bukhach A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Dyakonov A.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Zapomel Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Czech Republic)

Zubchaninov V.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kopylov Yu.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kuzichkin O.R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Kukhar V.D. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Lavrynenko V.Yu. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Li Shengbo. Cand. Sc. Tech., Assist. Prof. (China)

Mirsalimov V.M. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Azerbaijan)

Mulyukin O.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Savin L.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Smolenzhev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Soldatkin V.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Starovoitov A.I. Doc. Sc. Ph. – Math., Prof. (Belarus)

Stepanov Yu.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)

Heifets M.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belarus)

Executive secretary:

Tyukhta A.V. Candidate Sc. Tech.

Address

302030, Oryol region, Oryol, st.
Moskovskaya, 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898
http://oreluniver.ru
E-mail: radsu@rambler.ru

Journal is registered in Federal Agency of
supervision in sphere of communication,
information technology and mass
communications. The certificate of registration
Pl № FS77–67029 from 30.08.2016

Index on the catalogue of the

«Pressa Rossii» 29504
on the websites www.pressa-ru
and www.aks.ru

© Orel State University, 2022

Contents

Editors Note

To the 75th anniversary of Vladimir Sergeevich Shorkin.....	3
To the 50th anniversary of Gennady Valerievich Barsukov.....	4

Theoretical mechanics and its applications

Khromov E.V., Moreva I.N., Morev D.S. Preliminary assessment of vessel elements, related to providing its management.....	5
Popov I.P. Spear body fall.....	9
Bokhonsky A.I., Varminskaya N.I., Ryzhkov A.I. Estimation of the energy intensity of the minimum forcing of the object purposed motion.....	15
Sorkin V.S., Romashin S.N., Khoroshilova M.V., Tinyakova E.V. Calculation of the defectiveness of a material under a homogeneous stress-strain state.....	21

Mechanics of deformable solids, dynamics and strength

Moreva I.N., Khromov E.V., Morev D.S. Dynamics of the impact of sea wave on semi-submersible platforms.....	29
Poddubny A.A., Gordon V.A., Poturaeva T.V., Leonov D.S. Dynamic response of the beam-foundation system to sudden cracking.....	40

Machine-building technologies and equipment

Nemenko A.V., Nikitin M.M. Fracture prevention when drilling fragile material.....	50
Kravchenko I.N., Kartsev S.V., Kuznetsov Yu.A., Kurdyumova L.N., Pankov G.B. Diagnostics of residual stresses in sputed and melted coatings.....	56
Tkachenko A.N., Danilchenko S.G., Petrukhin A.V., Shamrin A.V. Investigation of the process of intermittent blinding of flat surfaces of electrical parts from copper processed by a combined method.....	62
Frolenkova L.Yu., Selemenev M.F., Novikov A.D., Oleynik A.S. Gradient theory of elastic strength of epilam films under adhesive contact.....	68
Golovin V.I., Radchenko S.Yu. Finite element simulation of the drilling process of polymer biocomposites reinforced with natural fibers.....	74
Garshin A.Yu., Latyshev V.Yu. Estimation of variances in the time of operations to check the operability and restore of the technical means when it is diagnosed in a post-accident situation ...	79
Barsukov G.V., Zhuravleva T.A., Kozhus O.G., Selemeneva E.M., Prasolov E.A. Studying the influence of the morphology of abrasive particles of copper slag on the speed and depth of waterjet cutting to create a new abrasive of increased strength.....	86

Machine Science and Mechatronics

Bucharov K.D., Kudrov M.A., Rybak L.A. Simulation of the dynamics of a robotic mobility platform based on electric cylinders for training complexes.....	94
Kornaev A.V., Shutin D.V., Kazakov Yu.N. Classical control systems in adjustable liquid friction supports.....	103
Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Gorin A.V., Tokmakova M.A., Rodicheva I.V. Analysis and prerequisites for the creation of a mechatronic bearing with controlled wear.....	110
Kornaev A.V., Polyakov R.N., Nastepanin K.K., Fetisov A.S. Diagnostics of rotor system defects based on thermograms obtained with the infrared camera.....	119
Savin L.A., Kozyrev D.L., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Modeling and optimization of mechanical relaxation lever vibration protection system.....	124
Vorobyev V.I., Dorofeev O.V., Izmerov O.V., Zlobin S.N., Pugachev A.A., Nikolaev E.V. Development of classification of the mechanical part of traction drives of locomotives.....	130

Devices, biotechnical systems and technologies

Golubova N.V., Dremine V.V., Potapova E.V., Dunaev A.V. Multimodal laparoscopic system for biological tissue perfusion and metabolism assessment.....	139
Gainullina Ya.N., Pashkov E.V., Kalinin M.I., Polivtsev V.P., Sopin P.K., Chetverkin A.A. Investigation of the operability of elements of life support systems of biological objects in the implementation of technologies liquid breathing.....	148
Dengaev A.M., Daiziev Z.M. Application of a structural approach to the design of an intelligent disease prediction system.....	154

Monitoring, Diagnostics, Testing and Quality Management

Garshin A.Yu. Methods of forecasting and determining the causes of changes in the technical condition of the diagnosed technical means in difficult operating conditions.....	159
Tsybriy I.K., Koval N.S., Ignatenko V.I., Vyalikov I.L., Rodichev A.Yu. Determination of the relative error of the coercimeter in non-destructive quality control hard alloy products.....	165

Колонка главного редактора

К 75- летию Владимира Сергеевича Шоркина, известного ученого, заместителя главного редактора журнала «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии».

Владимир Сергеевич Шоркин родился 10 января 1947 года. Является российским ученым в области механики деформируемого твердого тела, а именно – создания нетрадиционных моделей локальной и нелокальной теории упругости и применения их в инженерной практике.

Научная и практическая деятельность Шоркина В.С. внесла существенный вклад в теорию и практику адгезионного и антиадгезионного взаимодействия элементов конструкций машин и оборудования, в частности, при разработке технологии изготовления бланкета термоядерного реактора (проект ИТЕР), теоретическом обосновании работы твердосмазочных покрытий и антидиффузионных слоев биметаллических проводов.

Шоркин В.С. провел большой объем уникальных научных исследований, прежде всего, в области исследования нетрадиционных механических свойств поверхностных и переходных слоев твердых тел методами нелокальной теории упругости.

Основные результаты работы отражены в центральных и международных периодических изданиях, системах цитирования Scopus и Web of Science (Nanoscience and Technology: An International Journal, Advanced Structured Materials, Journal of Surface Investigation, X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, «Техническая физика», «Известия РАН. Механика твердого тела», «Известия РАН. Приборы и техника эксперимента», «Известия РАН. Прикладная математика и механика», «Материаловедение», «Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета», «Упрочняющие технологии и покрытия», «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии».

Шоркин В.С. входит в состав 2-х докторских диссертационных советов по защите диссертаций. Под руководством Шоркина В.С. защищено 3 кандидатских диссертации, 4 докторских диссертации.

От всего коллектива ОГУ им. И.С. Тургенева и редакции журнала «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» сердечно поздравляем Владимира Сергеевича Шоркина с замечательным Юбилеем и желаем ему новых научных, общественных и творческих свершений!!!

Коллектив ОГУ им. И.С. Тургенева и редакция журнала «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии».





К 50- летию Барсукова Геннадия Валерьевича, заместителя главного редактора журнала «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии».

10 января 1972 года родился Барсуков Геннадий Валерьевич – российский ученый в области сверхзвуковых струйных течений, гидро- и гидроабразивного резания различных материалов, доктор технических наук, доцент, лучший изобретатель города Орла (2003 г.), обладатель премии администрации Орловской области для молодых ученых в области технических наук на тему «Повышение конкурентоспособности изделий машиностроения на стадии финишной обработки абразивным инструментом», грамоты Минобрауки России, Губернатора Орловской области, Орловского областного Совета народных депутатов, мэра г. Орла и нагрудного знака Минобрнауки России «За развитие научно-исследовательской работы студентов», победитель конкурса грантов Президента РФ (2004 г.) и Российского

научного фонда (2021 г.).

Научная и практическая деятельность Барсукова Г.В. внесла существенный вклад в создание задела научно-технических разработок и промышленного освоения на Российских предприятиях прогрессивных инновационных технологий и оборудования на основе сверхзвуковых струйных течений, гидро- и гидроабразивного резания различных материалов.

С 1995 года при его непосредственном участии разработаны научно-технологические основы резания сверхзвуковой гидроструей текстильных материалов, технических тканей и конструкционных материалов для разных отраслей промышленности.

Барсуков Г.В. провел большой объем уникальных научных исследований, прежде всего, в области управления качеством гидроабразивного резания. Результаты исследований и разработки используются при обработке различных поверхностей деталей машин и элементов конструкций в космической и ракетной технике, авиа-, судо-, автомобиле-, приборо-машиностроении, электротехнической и легкой промышленности, строительстве и медицине.

Барсуков Г.В. имеет более 20 Патентов РФ. Изобретения направлены на повышение качества и производительности гидро- и гидроабразивного резания материалов.

Основные результаты работы отражены в центральной печати (ж/л «Справочник. Инженерный журнал», ж/л «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», ж/л «Контроль. Диагностика», ж/л «Инженерия поверхности», ж/л «Сборка», ж/л «Наукоемкие технологии», а также в высокорейтинговых журналах, индексирующихся в международных наукометрических системах цитирования Scopus и Web of Science).

Барсуков Г.В. входит в состав 3-х докторских диссертационных советов. Под руководством Барсукова Г.В. защищено 3 кандидатские диссертации и на сегодняшний день он продолжает подготовку аспирантов и докторантов на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.

Барсуков Г.В. является автором 10 монографий, изданных в центральных издательствах: Машиностроение, Спектр, Прогресс и др. Имеет более 250 научных работ по проблеме проектирования технологий и оборудования на основе сверхзвуковых струйных течений, инженерного образования.

От всего коллектива ОГУ им. И.С. Тургенева сердечно поздравляем Барсукова Геннадия Валерьевича с замечательным Юбилеем и желаем ему новых научных, общественных и творческих свершений!!!

Коллектив ОГУ им. И.С. Тургенева и редакция журнала «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии».

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

УДК 609.12:532

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-5-8

Е.В. ХРОМОВ, И.Н. МОРЕВА, Д.С. МОРЕВ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТОВ СУДНА, СВЯЗАННЫХ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЕГО УПРАВЛЯЕМОСТИ

Аннотация. Устойчивость судна на курсе и его поворотливость являются противоположными качествами: при улучшении устойчивости на курсе поворотливость ухудшается, и наоборот. В то же время оба этих качества являются полезными, поэтому при проектировании судов стремятся найти в зависимости от типа и назначения судна целесообразное сочетание этих качеств.

Ключевые слова: управляемость судна, винто - рулевой комплекс, угол дрейфа, площадь руля, циркуляция, диаграмма управляемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила классификации и постройки морских судов / СПб.: Российский Морской Регистр Судоходства, 2018.
2. Кацман Ф. М. Конструирование винто-рулевых комплексов морских судов / Ф.М. Кацман, Г.М. Кудреватый. – Л.: Судостроение, 1974. – 376 с.
3. Артюшков Л. С. Судовые движители / Л.С. Артюшков, А. А. Русецкий. – Л.: Судостроение, 1988. – 296 с.
4. Справочник по теории корабля. В 3-х т. Т 1 / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 766 с.
5. International Maritime Organization. Standards for Ship Manoeuvrability / IMO, Resolution MSC.137(76) adopted 5 December 2002. – London.

Хромов Егор Владимирович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук,
доцент кафедры Энергоустановки
морских судов и сооружений
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
E-mail: ev.khromov@mail.ru

Морева Ирина Николаевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Морев Дмитрий Сергеевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Студент кафедры «Судовождение»
E-mail: dimasik.morev@mail.ru

E.V. KHROMOV, I.N. MOREVA, D.S. MOREV

PRELIMINARY ASSESSMENT OF VESSEL ELEMENTS, RELATED TO PROVIDING ITS MANAGEMENT

Abstract. The stability of the vessel on the course and its turnability are opposite qualities: with the improvement of stability on the course, turnability deteriorates, and vice versa. At the same time, both of these qualities are useful, therefore, when designing ships, they strive to find, depending on the type and purpose of the ship, an appropriate combination of these qualities.

Keywords: ship handling, propeller - steering complex, drift angle, rudder area, circulation, steering diagram.

BIBLIOGRAPHY

1. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships / SPb.: Russian Maritime Register of Shipping, 2018.

2. Katsman FM Construction of propeller-driven systems of sea vessels / F.M. Katsman, G.M. Curly. – L.: Shipbuilding, 1974. – 376 p.
3. Artyushkov L.S. Ship propulsion devices / L.S. Artyushkov, A. A. Rusetsky. – L.: Shipbuilding, 1988. – 296 p.
4. Handbook of the theory of the ship. In 3 volumes. T 1 / Ed. ME AND. Voitkunsky. – L.: Shipbuilding, 1985. – 766 p.
5. International Maritime Organization. Standards for Ship Manoeuvrability / IMO, Resolution MSC. 137 (76) adopted 5 December 2002. – London.

Khromov Egor Vladimirovich
Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor of the
Department «Ship power plants and
structures»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: ev.khromov@mail.ru

Moreva Irina Nikolaevna
Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Morev Dmitry Sergeevich
Sevastopol State University,
Student of the
Department «Navigation»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: morev.dima2003@mail.ru

УДК 534.014.3

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-9-14

И.П. ПОПОВ

СОСТАВЛЯЮЩИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. Цель исследования состоит в детализации видов механической мощности при гармонических колебаниях. Показано, что при механических колебаниях развивается не только знакоположительная тепловая мощность, но и знакопеременные реактивные мощности, характеризующие обратимость кинетической и потенциальной энергий. Под активной мощностью понимается среднее за полпериода значение мгновенной мощности, а под реактивной – амплитудное значение. Полная механическая мощность, с одной стороны, описывается формулой Пифагора, а с другой – равна произведению действующих значений гармонических величин. Особенностью комплексного представления является то, что при вычислении полной мощности один из перемножаемых векторов должен быть сопряженным. Представление о механических реактивных, активной и полной мощностях является обобщением соответствующих понятий из электротехники, что является проявлением электро-механического дуализма.

Ключевые слова: механическая мощность, кинетическая энергия, потенциальная энергия, комплексное представление, векторное представление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов Е.Е., Горин А.В. Методы исследования процессов в системах виброзащиты с управляемой жесткостью // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 2(334). с. 52–59.
2. Владимиров А.А., Афонин А.Н., Макаров А.В., Назарова М.Ю. Геометрическая модель шероховатости при тчении с маятниковыми колебаниями резца // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–1(336). с. 15–19.
3. Коробко В.И., Черняев А.А., Шляхов С.В., Тюрин В.О. Взаимосвязь максимального прогиба и основной частоты колебаний пластинок // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 2(328). с. 3–8.
4. Морева И.Н., Хромов Е.В. Определение коэффициентов волнового демпфирования методом свободных затухающих колебаний // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4–2(336). с. 73–76.
5. Леоненко Д.В. Колебания трехслойной цилиндрической оболочки в упругой среде под действием осесимметричных динамических нагрузок // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3(329). с. 64–72.
6. Павлов В. Д. Автокомпенсация реактивной мощности в электрических сетях // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2021. 14(6). С. 684–688. DOI: 10.17516/1999-494X-0342
7. Попов И.П. Резонансы и антирезонансы сил и скоростей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2021. № 1 (345). С. 3–13. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-3-13
8. Попов И.П. Импедансы и адмитансы механических систем // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 5 (343). С. 3–11. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-3-11
9. Попов И.П. Алгебраические методы расчета разветвленных механических систем при вынужденных колебаниях // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 5 (343). С. 12–20. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-12-20
10. Павлов В.Д. Энергетика излучения электрического заряда и ее следствия // Известия Уфимского научного центра РАН. 2021. № 4. С. 5–8. 10.31040/2222-8349-2021-0-4-5-8

Попов Игорь Павлович

Курганский государственный университет

Старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

640002, Курган, ул. Томина, 106, кв. 52

8-905-85-28-121

E-mail: ip.popow@yandex.ru

I.P. POPOV

SPEAR BODY FALL

Abstract. *The problem of the speed, time and acceleration of a body falling on the planet's surface in the absence of an atmosphere is reduced to solving a second-order differential equation, which is solved by the standard method. A feature of the solution is the formal use of the tabular integral at an intermediate stage. It turned out, however, that his formula is unreliable, namely, the derivative of the right-hand side is not equal to the integrand. It follows from this that the possible existing solutions to this problem, based on the use of the indicated tabular integral, are incorrect. The article presents the correction of this tabular integral, which is an incidental result of the study. In this work, the time equation of motion of a body normally falling on the surface of the planet in the absence of an atmosphere, as well as the time equations of its speed and acceleration are obtained. The results obtained can be useful in calculating the fall of spent structural elements of spacecraft.*

Keywords: *planet, body, equation of motion, speed, acceleration, mass, distance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Prokopov E.E., Gorin A.V. Methods for studying processes in vibration protection systems with controlled stiffness // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 2(334). с. 52–59.
2. Vladimirov A.A., Afonin A.N., Makarov A.V., Nazarova M.Yu. Geometric model of roughness in turning with pendulum oscillations of the cutter // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 4–1(336). с. 15–19.
3. Korobko V.I., Chernyaev A.A., Shlyakhov S.V., Tyurin V.O. The relationship between the maximum deflection and the main vibration frequency of the plates // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2018. № 2(328). с. 3–8.
4. Moreva I.N., Khromov E.V. Determination of wave damping coefficients by the method of free damped oscillations // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2019. № 4–2(336). с. 73–76.
5. Leonenko D.V. Oscillations of a Three-Layer Cylindrical Shell in an Elastic Medium under the Action of Axisymmetric Dynamic Loads // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2018. № 3(329). с. 64–72.
6. Pavlov V.D. Autocompensation of reactive power in electrical networks // *Zhurn. Sib. feder. un-ta. Tekhnika i tekhnologii*. 2021. 14(6). С. 684–688. DOI: 10.17516/1999–494X-0342
7. Popov I.P. Resonances and antiresonances of forces and speeds // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2021. № 1 (345). S. 3–13. DOI: 10.33979/2073-7408-2021-345-1-3-13
8. Popov I.P. Impedances and admittances of mechanical systems // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 3–110. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-3-11
9. Popov I.P. Algebraic methods for calculating branched mechanical systems with forced vibrations // *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2020. № 5 (343). S. 12–20. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-343-5-12-20
10. Pavlov V.D. Energetics of radiation of an electric charge and its consequences // *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2021. № 4. С. 5–8. 10.31040/2222-8349-2021-0-4-5-8

Popov Igor Pavlovich

Kurgan State University

Senior Lecturer, Department of «Engineering Technology, machine tools and instruments»

640002, Kurgan, Tomina str., 106-52

8-905-85-28-121

E-mail: ip.popow@yandex.ru

А.И. БОХОНСКИЙ, Н.И. ВАРМИНСКАЯ, А.И. РЫЖКОВ

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ МИНИМАЛЬНОГО ПРИНУЖДЕНИЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

Аннотация. Обосновано наименьшее энергетическое принуждение оптимального движения объекта. С использованием интегрального квадратичного критерия как квадрата разности классического и реверсионного конструируемого управлений (ускорений) подтверждено существование тенденции к снижению энергетических затрат для достижения цели движения (из исходного в конечное состояние покоя при заданных времени и расстоянии). На примерах оценено снижение энергоемкости управления.

Ключевые слова: задача Лагранжа, классическое управление, реверсионно конструируемое управление, энергоемкость управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красовский, Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
2. Крутько, П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели / П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
3. Карновский, И.А. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых систем / И.А. Карновский, Ю.М. Почтман. – К.: Высш. школа, 1982. – 116 с.
4. Троицкий, В.А. Оптимальные процессы колебаний механических систем / В.А. Троицкий. – Л.: Машиностроение, 1976. – 236 с.
5. Черноусько, Ф.Л. Управление колебаниями / Ф.Л. Черноусько, П.Д. Акуленко, Б.Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
6. Бутковский, А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
7. Бохонский, А.И. Энергоемкость управления перемещением объектов / А.И. Бохонский // Фундаментальные основы механики: матер. междунар. науч.-практич. конф. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – С. 38 – 41.
8. Бохонский, А.И. Конструирование управляемого движения объекта / А.И. Бохонский, А.И. Рыжков // Механика, автоматика и робототехника: матер. междунар. науч.-практич. конф. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. – С. 64–69.
9. Бохонский, А.И. Конструирование оптимального управления движением объектов как абсолютно твердых и деформируемых тел / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: НИЦ МС, 2016. – С. 70 – 76.
10. Бохонский, А.И. Оптимальность конструируемых управлений перемещением объектов / А.И. Бохонский, М.М. Майстришин // Научно-технический журнал. – Гос. университет –УНПК, 2017. – С. 31 – 38.
11. Бохонский, А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
12. Бохонский, А.И. Оценка энергопотребления для оптимального управления движением объекта (Evaluation of energy consumption for the object motion optimal control / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская // ICMTMTE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. (<https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044093>).

Бохонский Александр Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Цифровое проектирование»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Варминская Наталья Ивановна
Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова, г. Севастополь
Доцент, кандидат технических наук, зав. кафедрой физики и общетехнических дисциплин
299028, г. Севастополь, ул. Дыбенко, д. 1а
Tel. 8 (978) 832–83–44
E-mail: nvarminska@gmail.com

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
Ассистент кафедры «Цифровое проектирование»
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. 8 (978) 847–37–49
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

A.I. BOKHONSKY, N.I. VARMINSKAYA, A.I. RYZHKOV

ESTIMATION OF THE ENERGY INTENSITY OF THE MINIMUM FORCING OF THE OBJECT PURPOSED MOTION

Abstract. *The least energy coercion of the optimal motion of an object is substantiated. Using the integral quadratic criterion as the square of the difference between the classical and reverse designed controls (accelerations) the existence of a tendency to reduce energy costs for the goal of movement achieving (from the initial to the final state of quiescence at a given time and distance) is confirmed. Decrease in the energy intensity of control is estimated with examples.*

Keywords: *Lagrange problem, classical control, reverse designed control, control power consumption.*

BIBLIOGRAPHY

1. Krasovskij, N.N. Teoriya upravleniya dvizheniem / N.N. Krasovskij. – M.: Nauka, 1968. – 476 s.
2. Krut'ko, P.D. Obratnye zadachi dinamiki upravlyaemyh sistem: linejnye modeli / P.D. Krut'ko. – M.: Nauka, 1987. – 304 s.
3. Karnovskij, I.A. Metody optimal'nogo upravleniya kolebaniyami deformiruemyh sistem / I.A. Karnovskij, YU.M. Pochtman. – K.: Vyssh. shkola, 1982. – 116 s.
4. Troickij, V.A. Optimal'nye processy kolebanij mekhanicheskikh sistem / V.A. Troickij. – L.: Mashinostroenie, 1976. – 236 s.
5. CHernous'ko, F.L. Upravlenie kolebaniyami / F.L. CHernous'ko, P.D. Akulenko, B.N. Sokolov. – M.: Nauka, 1980. – 384 s.
6. Butkovskij, A.G. Metody upravleniya sistemami s raspredelennymi parametrami. – M.: Nauka, 1975. – 568c.
7. Bohonskij, A.I. Energoemkost' upravleniya peremeshcheniem ob'ektov / A.I. Bohonskij // Fundamental'nye osnovy mekhaniki: mater. mezhdunar. nauch.-praktich. konf. – Novokuzneck: NIC MS, 2017. – S. 38 – 41.
8. Bohonskij, A.I. Konstruirovanie upravlyаемого dvizheniya ob'ekta / A.I. Bohonskij, A.I. Ryzhkov // Mekhanika, avtomatika i robototekhnika: mater. mezhdunar. nauch.-praktich. konf. – Novokuzneck: NIC MS, 2017. – S. 64–69.
9. Bohonskij, A.I. Konstruirovanie optimal'nogo upravleniya dvizheniya ob'ektov kak absolyutno tverdyh i deformiruemyh tel / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. – Orel: NIC MS, 2016. – S. 70 – 76.
10. Bohonskij, A.I. Optimal'nost' konstruiруемых управлений перемещением об'ектов / A.I. Bohonskij, M.M. Majstrishin // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal. – Gos. universitet –UNPK, 2017. – S. 31 – 38.
11. Bohonskij, A.I. Reversionnyj princip optimal'nosti / A.I. Bohonskij. – M.: Vuzovskij uchebnik: INFRA-M, 2016. – 174 s.
12. Bohonskij, A.I. Ocenka energopotrebleniya dlya optimal'nogo upravleniya dvizheniem ob'ekta (Evaluation of energy consumption for the object optimal control / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya // ICMTMTE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. (<https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044093>).

Bokhonsky Alexander Ivanovich

Sevastopol State University, Sevastopol
Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of «Digital Design»
299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33
Tel. 8 (978) 739–39–68
E-mail: bohon.alex@mail.ru

Ryzhkov Aleksandr Igorevich

Sevastopol State University, Sevastopol
Assistant of the Department «Digital Design»
299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33
Tel. 8 (978) 847–37–49
E-mail: ryzhkov2206@mail.ru

Varminskaya Natalia Ivanovna

Nakhimov Black Sea Higher Naval School, Sevastopol
Associate Professor, Candidate of Technical Sciences,
Head of Physics and General Technical Disciplines
Department
299028, Sevastopol, st. Dybenko, 1a
Tel. 8 (978) 832–83–44
E-mail: nvarminska@gmail.com

В.С. ШОРКИН, С.Н. РОМАШИН, М.В. ХОРОШИЛОВА, Е.В. ТИНЯКОВА

**РАСЧЕТ ДЕФЕКТНОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ ОДНОРОДНОМ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ**

Аннотация. В предлагаемой публикации приводится упрощенный пример расчета дефектности при однородном напряженно-деформированном состоянии материала. Рассматриваются плоские дефекты, на которых сохраняется непрерывность поля перемещений и классических напряжений, но нарушается непрерывность поля градиентов перемещений. Предполагается, что такие дефекты возникают в металлах на межзеренных границах их структуры как при упрочнении, так и при изменении напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: упрочнение, дефект, поврежденность, нелокальная и локальная теории, межчастичные потенциальные взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gryadunov I. M., Golenkov V. A., Pilipenko O. V., Radchenko S. J. Hardening Treatment by Plastic Deformation under Conditions of the Integrated Local Loading of a Deformation Zone // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – V. 12, N. 21. – pp. 11094-11100.
2. Колупаева С.Н., Ерыгина Е.В., Ковалевская Т.А., Попов Л.Е. Качественное исследование эволюции дефектной подсистемы гетерогенных сплавов с некогерентной упрочняющей фазой при интенсивных воздействиях // Физическая мезомеханика. – 2000. – Т. 3, № 7. – С. 63 – 79.
3. Гринфельд М.А. Методы механики сплошных сред в теории фазовых превращений. М.: Наука, 1990. 312 с.
4. Телятник Р.С., Осипов А.В., Кукушкин С.А. Релаксация деформаций несоответствия за счет пор и отслоений и условия образования дислокаций, трещин и гофров в эпитаксиальной гетероструктуре AlN(0001)/SiC/Si(111) // Физика твердого тела. - 2015. - Т. 57, В. 1. - С. 153 – 162.
5. Скиба Н.В. Зернограницные механизмы релаксации напряжений несоответствия в нанокристаллических пленках и покрытиях // Materials Physics and Mechanics. – 2014. – Т. 19. – С. 68-87.
6. M.Yu. Gutkin, I.A. Ovid'ko. Defect structures on inner interfaces in nanocrystalline and polycrystalline films // Mater. Phys. Mech. – 2009.- Vol. 8, No. 2. - p. 108-148.
7. Presnetsova V. Yu., Romashin S. N., Frolenkova L. Yu., Shorkin V. S., Yakushina S. I. A variant of the description of the adhesion interaction in the probe-sample system of an atomic force microscope // Nanoscience and Technology: An International Journal, V. 9, Iss. 4, pp. 299-323, 2018. DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714.
8. Голенков В.А., Шоркин В.С., Якушина С.И. Математическая модель описания нелокальных взаимодействий частиц континуума // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020 - № 6 (344) - С. 3 – 11.
9. Shorkin, V.S. Nonlinear dispersion properties of high-frequency waves in the gradient theory of elasticity. Mech. Solids 46, 898–912 (2011). <https://doi.org/10.3103/S0025654411060094>.
10. Lurie S., Belov P., Volkov-Bogorodsky D., Tuchkova N. Nanomechanical Modeling of the Nanostructures and Dispersed Composites // Int. J. Comp. Mater. Sci. 2003. 28 (3-4). D. 529.539.
11. Kittel, Charles; McEuen, Paul (2018). Introduction to solid state physics (Global ed., 9th ed.). New Jersey: Wiley. p. 692. ISBN 978-1-119-45416-8.

Шоркин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Доктор физико-математических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник НОЦ «Математическое
моделирование процессов городской среды»

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (4862) 41-98-48

E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Ромашин Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры технической физики и математики
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тел. (4862) 41-98-48

E-mail: sromashin@yandex.ru

Хорошилова Маргарита Вячеславовна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
технической физики и математики

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29

Тинякова Елена Владимировна

НТЦ «Разработка сложных систем»

Кандидат технических наук,
302020, г. Орёл ул Приборостроительная, 9

Тел. +7 (4862) 78 05 15

V.S. SORKIN, S.N. ROMASHIN, M.V. KHOROSHILOVA, E.V. TINYAKOVA

CALCULATION OF THE DEFECTIVENESS OF A MATERIAL UNDER A HOMOGENEOUS STRESS-STRAIN STATE

Abstract. *The proposed publication provides a simplified example of the calculation of defectiveness in a homogeneous stress-strain state of the material. Flat defects are considered, on which the continuity of the displacement field and classical stresses is preserved, but the continuity of the displacement gradient field is violated. It is assumed that such defects arise in metals at the grain boundaries of their structure both during hardening and during a change in the stress-strain state.*

Keywords: *hardening, defect, damage, non-local and local theories, interparticle potential interactions.*

BIBLIOGRAPHY

1. Gryadunov I. M., Golenkov V. A., Pilipenko O. V., Radchenko S. J. Hardening Treatment by Plastic Deformation under Conditions of the Integrated Local Loading of a Deformation Zone // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – V. 12, N. 21. – pp. 11094-11100.
2. Kolupaeva S.N., Erygina E.V., Kovalevskaya T.A., Popov L.E. Kachestvennoe issledovanie evolyucii defektnoj podsystemy geterogennyh splavov s nekogerentnoj uprochnyayushchej fazoj pri intensivnyh vozdeystviyah // Fizicheskaya mezomekhanika. – 2000. – T. 3, № 7. – S. 63 – 79.
3. Гринфельд МА. Методы механики сплошных сред в теории фазовых превращений. М.: Наука, 1990. 312 с.
4. Telyatnik R.S., Osipov A.V., Kukushkin S.A. Relaksaciya deformacij nesootvetstviya za schet por i otsloenij i usloviya obrazovaniya dislokacij, treshchin i gofrov v epitaksial'noj geterostrukture AlN(0001)/SiC/Si(111) // Fizika tverdogo tela. – 2015. – T. 57, V. 1. – S. 153 – 162.
5. Skiba N.V. Zernogranichnye mekhanizmy relaksacii napryazhenij nesootvetstviya v nanokristallicheskih plenkah i pokrytiyah // Materials Physics and Mechanics. – 2014. – T. 19. – S. 68-87.
6. M.Yu. Gutkin, I.A. Ovid'ko. Defect structures on inner interfaces in nanocrystalline and polycrystalline films // Mater. Phys. Mech. – 2009.- Vol. 8, No. 2. – p. 108-148.
7. Presnetsova V. Yu., Romashin S. N., Frolenkova L. Yu., Shorkin V. S., Yakushina S. I. A variant of the description of the adhesion interaction in the probe-sample system of an atomic force microscope // Nanoscience and Technology: An International Journal, V. 9, Iss. 4, pp. 299-323, 2018. DOI: 10.1615/NanoSciTechnolIntJ.2018026714.
8. Golenkov V.A., SHorkin V.S., YAKushina S.I. Matematicheskaya model' opisaniya nelokal'nyh. vzaimodeystvij chastic kontinuum // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2020 - № 6 (344) - S. 3 – 11.
9. Shorkin, V.S. Nonlinear dispersion properties of high-frequency waves in the gradient theory of elasticity. Mech. Solids 46, 898–912 (2011). <https://doi.org/10.3103/S0025654411060094>.
10. Lurie S., Belov P., Volkov-Bogorodsky D., Tuchkova N. Nanomechanical Modeling of the Nanostructures and Dispersed Composites // Int. J. Comp. Mater. Sci. 2003. 28 (3-4). D. 529.539.
11. Kittel, Charles; McEuen, Paul (2018). Introduction to solid state physics (Global ed., 9th ed.). New Jersey: Wiley. p. 692. ISBN 978-1-119-45416-8.

Shorkin Vladimir Sergeevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Professor of the Department of Technical
Physics and Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79606550077
E-mail: v.s.shorkin@yandex.ru

Romashin Sergey Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technical
Physics and Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79192677126
E-mail: sromashin@yandex.ru

Khoroshilova Margarita Vyacheslavovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technical
Physics and Mathematics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79192687520

Tinyakova Elena Vladimirovna

STC "Development of complex systems"
Candidate of Technical Sciences,
302020, Orel, Instrument-making str., 9
Pf. +7 (4862) 78 05 15
E-mail: miss.slime@yandex.ru

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

УДК: 622.242 629.124

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-29-39

И.Н. МОРЕВА, Е.В. ХРОМОВ, Д.С. МОРЕВ

ДИНАМИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ НА ПОЛУПОГРУЖНЫЕ ПЛАТФОРМЫ

Аннотация. Настоящая работа посвящена анализу особенностей колебаний полупогружных платформ, в частности определению вертикальных и угловых колебаний при различных конструктивных параметрах и характеристиках поверхностных волн.

Показано, что вертикальная качка является одним из важнейших видов реакции полупогружной установки на воздействия штормовых волн, в части обеспечения ее стабильности. Используя линейную систему уравнений качки полупогружных платформ, появляется возможность проведения исследований вертикальных колебаний независимо от других видов качки. Представлено численное решение системы уравнений качки полупогружной платформы с помощью программно-математического обеспечения, обеспечивающего вычисление характеристик горизонтальных, вертикальных и угловых перемещений платформы при различном положении платформы по отношению к волнению.

Ключевые слова: полупогружная платформа, качка, система координат, амплитудно-частотные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благовещенский С.Н. Качка корабля / С.Н. Благовещенский. – Л.: Судпромгиз, 1954. – 324 с.
2. Иванов А.В. Качка полупогружной буровой установки типа «Акер», ориентированной под произвольным углом к волнению / А.В. Иванов // Вопросы судостроения. Сер. Проектирование судов. – Л., 1980. – Вып. 24. – С. 3 – 18.
3. Иванов А.В. Исследование возмущающих сил, действующих на элементы полупогружной платформы на регулярном волнении / А.В. Иванов, Н.В. Куров // Вопросы судостроения. Сер. Проектирование судов. – Л., 1978. – Вып. 18. – С. 68 – 79.
4. Новиков А.И. Типы судов и технические средства освоения мирового океана / А.И. Новиков. – Севастополь: ЧП Кручинин Л.Ю., 2006 – 152с.
5. Риман И.С. Присоединенные массы тел различной формы / И.С. Риман // Труды ЦАГИ. – 1947. – Вып. 635. – С. 18 – 26.
6. Хаскинд М.Д. Гидродинамическая теория качки корабля / М.Д. Хаскинд. – М.: Наука, 1973. – 262с.

Морева Ирина Николаевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Хромов Егор Владимирович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Кандидат технических наук,
доцент кафедры Энергоустановки
морских судов и сооружений
299053, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
E-mail: ev.khromov@mail.ru

Морев Дмитрий Сергеевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
г. Севастополь
Студент кафедры «Судовождение»
E-mail: dimasik.morev@mail.ru

I.N. MOREVA, E.V. KHROMOV, D.S. MOREV

DYNAMICS OF THE IMPACT OF SEA WAVE ON SEMI-SUBMERSIBLE PLATFORMS

Abstract. This work is devoted to the analysis of the peculiarities of vibrations of semi-submersible platforms, in particular, the determination of vertical and angular vibrations for various design parameters and characteristics of surface waves.

It is shown that heaving is one of the most important types of reaction of a semi-submersible installation to the effects of storm waves, in terms of ensuring its stability. Using a linear system of equations for the rolling of semi-submersible platforms, it becomes possible to study vertical vibrations independently of other types of rolling. A numerical solution of the system of equations for the pitching of a semi-submersible platform is presented using software and

mathematical software that provides the calculation of the characteristics of horizontal, vertical and angular movements of the platform at different positions of the platform relative to the wave.

Keywords: semi-submersible platform, pitching, coordinate system, amplitude - frequency characteristics.

BIBLIOGRAPHY

1. Annunciation S.N. The rocking of the ship / S.N. Annunciation. – L.: Sudpromgiz, 1954. – 324 p.
2. Ivanov A.V. Swinging of the Aker-type semi-submersible drilling rig oriented at an arbitrary angle to the waves / A.V. Ivanov // Questions of shipbuilding. Ser. Ship design. – L., 1980. – Issue. 24. – S. 3 – 18.
3. Ivanov A.V. Investigation of disturbing forces acting on the elements of a semi-submersible platform on regular waves / A.V. Ivanov, N.V. Kurov // Questions of shipbuilding. Ser. Ship design. – L., 1978. – Issue. 18. – S. 68–79.
4. Novikov A.I. Types of ships and technical means for the development of the world ocean / A.I. Novikov. – Sevastopol: PE Kruchinin L.Yu., 2006 – 152p.
5. Riemann I.S. Attached masses of bodies of various shapes / I.S. Riemann // Works of TsAGI. - 1947. - Issue. 635. – S. 18 – 26.
6. Haskind M.D. Hydrodynamic theory of ship pitching / M.D. Haskind. – Moscow: Nauka, 1973. – 262 p.

Moreva Irina Nikolaevna
Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor
E-mail: i.n.moreva@mail.ru

Khromov Egor Vladimirovich
Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor of the
Department «Ship power plants and
structures»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: ev.khromov@mail.ru

Morev Dmitry Sergeevich
Sevastopol State University,
Student of the
Department «Navigation»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: dimasik.morev@mail.ru

УДК 539

DOI:10.33979/2073-7408-2022-351-1-40-49

А.А. ПОДДУБНЫЙ, В.А. ГОРДОН, Т.В. ПОТУРАЕВА, Д.С. ЛЕОНОВ

ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК СИСТЕМЫ «БАЛКА – ОСНОВАНИЕ» НА ВНЕЗАПНОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ

Аннотация. Построена математическая модель динамического процесса в нагруженной балке Эйлера-Бернулли на упругом основании Винклера, инициируемого внезапным образованием дефекта балки в виде открытой поперечной трещины. Решение статической задачи изгиба защемленной по концам балки служит начальным условием процесса вынужденных колебаний, в ходе которых происходит перераспределение и рост деформаций и напряжений. Вынужденные колебания исследуются путем разложения нагрузки и статического прогиба неповрежденной балки в ряды по формам собственных колебаний балки поврежденной. Для анализа перемещений и внутренних усилий в балке используется метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояний произвольных сечений балки. Получены зависимости, связывающие параметры напряженно-деформированного состояния балки с глубиной и локализацией трещины при заданных геометрических и механических характеристиках системы «балка-основание». Для демонстрации возможностей подхода приведены численные примеры и обсуждение результатов.

Ключевые слова: балка, упругое основание, осадка основания, фактор внезапности, вибрации, догружения, начальные параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Khaji, M. hafei, M. Jalalpour (2009) Closed – form solutions for crack detection problem of Timoshenko beams with various boundary conditions. International. Journal of Mechanical Sciences. 51, pp. 667-681.
2. J. Lee (2009) Identification of multiple cracks in a beam using natural frequencies. Journal of Sound and Vibration, 320, No. 3, pp. 482-490.
3. M. Attar (2012) A transfer matrix method for free vibration analysis and crack identification of stepped beams with multiple edge cracks and different boundary conditions. International Journal of Mechanical Sciences. 57, pp. 19-33.
4. K. Sherafatnia, G. H. Farrahi, S. A. Faghidian (2014) Analytic approach to free vibration and buckling analysis of functionally graded beams with edge cracks using for engineering beam theories. International Journal of Engineering –Transactions C: Aspects, Vol. 27, No. 6, pp. 979-990.
5. N. KHaji, A. Dardel, M. Ghasemi, M. Pashaei (2014) A simple method for modeling open cracked beam. International Journal of Engineering – Transactions B: Applications, Vol. 28, No. 2, pp. 321-329.
6. X. Zhao, Y. R. Zhao, X. Z. Gao, X.Y. Li, Y. H. Li, (2016) Green – functions for the forced vibrations of cracked Euler-Bernoulli beams. Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 68, pp. 155-175.
7. W. M. Hasan (1995) Crack detection from the variation eigenfrequencies of a beam on elastic foundation. Engineering Fracture Mechanics. Vol. 52, no. 3, pp. 409-421.

8. A. Mirzabeigy and E. Bakhtiari-Nejad (2014) Semi-analytical approach for free vibration analysis of cracked beams resting on two-parameter elastic foundation with elastically restrained ends. *Frontiers of Mechanical Engineering*, Vol. 9, No. 2, pp. 191-202.
9. Y.S hin, J. Yun, K. Seong, J. im, S. Kang (2006) Natural frequencies of Euler-Bernoulli beam with open cracks on elastic foundation. *Journal of Mechanical Sciences and Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 467-472.
10. A. Ghannadiasl, M. Mofid (2015) An analytical solution for free vibration of elastically restrained Timoshenko beam on an arbitrary variable Winkler foundation and under axial load. *Latin American Journal of Solid and Structures*, Vol. 12, No. 13, pp. 2417-2438.
11. A. Ghannadiasl, S. Khodapanah Ajirlou (2018) Dynamic response of multi-cracked beams resting on elastic foundation. *International Journal of Engineering – Transactions B: Applications*, Vol. 31, No. 11, pp. 1830-1837.
12. A. Khaijar and R. Benamar (2017) A discret model for nonlinear vibration of a simply supported cracked beams resting on elastic foundations. *Diagnostika*, Vol. 18, No. 3, pp. 39-46.
13. M. Attar, A. Karrech and k. Regenauer – Lieb (2014) Free vibration analysis of a cracked shear deformable beam on a two-parameter elastic foundation using a lattice spring model. *Journal of Sound and Vibration*, 333, No. 11, pp. 2359-2377.
14. A. C. Batihan and F. S. Kadioglu (2016) Vibration analysis of a cracked beam on an elastic foundation. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, Vol.16, No.5, 00066.
15. V. Gordon, O. Pilipenko (2016) Beam's dynamical stresses increments after partial deconstruction of foundation. *Proc. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*. – Crete, Greece. Vol. 3. - pp. 5533 – 5549.
16. W. M. Ostachowitz, M. Krawczuk (1991) Analysis of the effect of cracks on the natural frequencies of a cantilever beam. *Journal of Sound and Vibration*, 150, No. 2, pp. 191-201.
17. Hai – Ping Lin (2008) Dynamic design of beams using crack tuning. *Proc. XV International Congress on Sound and Vibration*. Daejeon, Korea, pp. 215 – 222.

Поддубный Алексей Алексеевич

Белорусский государственный университет
транспорта, г. Гомель
Кандидат физико-математических наук, доцент,
начальник факультета
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34
Тел. 8-10-375-232-319378.
E-mail: bsut@bsut.by

Гордон Владимир Александрович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры
технической физики и математики
302020 г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Потураева Татьяна Вячеславовна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
кандидат технических наук, доцент кафедры
технической физики и математики
302020 г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел. (4862) 41-98-48
E-mail: tanpo77@mail.ru

Леонов Денис Сергеевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Архитектурно-строительный институт,
студент группы ПС
302020 г. Орел, ул. Московская, 77
Тел. 89192649607
E-mail: leonoffdeniso4ka@yandex.ru

A.A. PODDUBNY, V.A. GORDON, T.V. POTURAEVA, D.S. LEONOV

DYNAMIC RESPONSE OF THE BEAM-FOUNDATION SYSTEM TO SUDDEN CRACKING

Abstract: *A mathematical model of the dynamic process in a loaded Euler-Bernoulli beam on an elastic Winkler foundation, initiated by the sudden formation of a beam defect in the form of an open transverse crack, is constructed. The solution of the static problem of bending a beam clamped at the ends serves as the initial condition for the process of forced vibrations, during which the redistribution and growth of strains and stresses occur. Forced vibrations are investigated by expanding the load and static deflection of an undamaged beam into rows according to the natural vibration modes of a damaged beam. To analyze displacements and internal forces in a beam, the method of initial parameters is used in combination with a vector-matrix representation of the states of arbitrary beam sections. Dependences are obtained that connect the parameters of the stress-strain state of the beam with the depth and localization of the crack for given geometric and mechanical characteristics of the "beam-foundation" system. Numerical examples and a discussion of the results are given to demonstrate the possibilities of the approach.*

Keywords: *beam, elastic base, base sediment, surprise factor, vibration, overloading, initial parameters.*

BIBLIOGRAPHY

1. N. Khaji, M. hafei, M. Jalalpour (2009) Closed – form solutions for crack detection problem of Timoshenko beams with various boundary conditions. *International. Journal of Mechanical Sciences*. 51, pp. 667-681.
2. J. Lee (2009) Identification of multiple cracks in a beam using natural frequencies. *Journal of Sound and Vibration*, 320, No. 3, pp. 482-490.

3. M. Attar (2012) A transfer matrix method for free vibration analysis and crack identification of stepped beams with multiple edge cracks and different boundary conditions. *International Journal of Mechanical Sciences*. 57, pp. 19-33.
4. K. Sherafatnia, G. H. Farrahi, S. A. Faghidian (2014) Analytic approach to free vibration and buckling analysis of functionally graded beams with edge cracks using for engineering beam theories. *International Journal of Engineering – Transactions C: Aspects*, Vol. 27, No. 6, pp. 979-990.
5. N. KHaji, A. Dardel, M. Ghasemi, M. Pashaei (2014) A simple method for modeling open cracked beam. *International Journal of Engineering – Transactions B: Applications*, Vol. 28, No. 2, pp. 321-329.
6. X. Zhao, Y. R. Zhao, X. Z. Gao, X.Y. Li, Y. H. Li, (2016) Green – functions for the forced vibrations of cracked Euler-Bernoulli beams. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 68, pp. 155-175.
7. W. M. Hasan (1995) Crack detection from the variation eigenfrequencies of a beam on elastic foundation. *Engineering Fracture Mechanics*. Vol. 52, no. 3, pp. 409-421.
8. A. Mirzabeigy and E. Bakhtiari-Nejad (2014) Semi-analytical approach for free vibration analysis of cracked beams resting on two-parameter elastic foundation with elastically restrained ends. *Frontiers of Mechanical Engineering*, Vol. 9, No. 2, pp. 191-202.
9. Y.S hin, J. Yun, K. Seong, J. im, S. Kang (2006) Natural frequencies of Euler-Bernoulli beam with open cracks on elastic foundation. *Journal of Mechanical Sciences and Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 467-472.
10. A. Ghannadiasl, M. Mofid (2015) An analytical solution for free vibration of elastically restrained Timoshenko beam on an arbitrary variable Winkler foundation and under axial load. *Latin American Journal of Solid and Structures*, Vol. 12, No.13, pp. 2417-2438.
11. A. Ghannadiasl, S. Khodapanah Ajirlou (2018) Dynamic response of multi-cracked beams resting on elastic foundation. *International Journal of Engineering –Transactions B: Applications*, Vol. 31, No. 11, pp. 1830-1837.
12. A. Khaijar and R. Benamar (2017) A discret model for nonlinear vibration of a simply supported cracked beams resting on elastic foundations. *Diagnostika*, Vol. 18, No. 3, pp. 39-46.
13. M. Attar, A. Karrech and k. Regenauer – Lieb (2014) Free vibration analysis of a cracked shear deformable beam on a two-parameter elastic foundation using a lattice spring model. *Journal of Sound and Vibration*, 333, No. 11, pp. 2359-2377.
14. A. C. Batihan and F. S. Kadioglu (2016) Vibration analysis of a cracked beam on an elastic foundation. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, Vol.16, No.5, 00066.
15. V. Gordon, O. Pilipenko (2016) Beam's dynamical stresses increments after partial deconstruction of foundation. *Proc. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*. – Crete, Greece. Vol. 3.- pp. 5533 – 5549.
16. W. M. Ostachowitz, M. Krawczuk (1991) Analysis of the effect of cracks on the natural frequencies of a cantilever beam. *Journal of Sound and Vibration*, 150, No. 2, pp. 191-201.
17. Hai – Ping Lin (2008) Dynamic design of beams using crack tuning. *Proc. XV International Congress on Sound and Vibration*. Daejeon, Korea, pp. 215 – 222.

Poddubny Alexey Alekseevich

Belarusian State University of Transport, Gomel
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor,
Head of the Faculty 246653 Kirova str. 34, Gomel,
Tel. 8-10-375-232-319378.
E-mail: bsut@bsut.by

Poturaeva Tatyana Vyacheslavovna

Orel State University named after I.S. Turgenev
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
the Department of Technical Physics and Mathematics
302020 Orel, Naugorskoe highway, 29
Tel. (4862) 41-98-48
E-mail: tanpo77@mail.ru

Gordon Vladimir Alexandrovich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Technical Physics and Mathematics
302020 Orel, Naugorskoe highway, 29
Tel. (4862) 41-98-48
E-mail: gordon@ostu.ru

Leonov Denis Sergeevich

FGBOU VO "OSU named after I.S. Turgenev", Orel
Architectural and Construction Institute,
student of group 11 With
three hundred two thousand twenty Eagle, Moskovskaya
str., 77
Tel. 891926496
E-mail: leonoffdeniso4ka@yandex.ru

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.95

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-50-55

А.В. НЕМЕНКО, М.М. НИКИТИН

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Аннотация. Предложен классификатор режима сверления заготовки по его возможности хрупкого разрушения заготовки при продолжении работы на данном режиме. В качестве критерия допустимости режима взята конечность изменения во времени действительной и мнимой частей комплексного интеграла от функции касательных напряжений, полученной по внешнему замкнутому контуру, охватывающему производимое отверстие.

Ключевые слова: сверление, хрупкий материал, бинарный классификатор, напряжения в комплексной форме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неменко А.В. Диагностика ранней стадии усталости вращающихся деталей машин/А.В. Неменко, М.М. Никитин//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, №5(349), 2021, С.151-157.

2. Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного/М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат//М.: Наука, 1987. – 688 с.

Неменко Александра Васильевна

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и машиноведение»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел. +79788330519

E-mail: valesan@list.ru

Никитин Михаил Михайлович

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь

Преподаватель кафедры «Высшая математика»

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Тел. +79788150316

E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

A.V. NEMENKO, M.M. NIKITIN

FRACTURE PREVENTION WHEN DRILLING FRAGILE MATERIAL

Abstract. A classifier of the mode of drilling a workpiece from a brittle material according to its ability to lead to the destruction of the workpiece during continuation is proposed. The finiteness of the change in time of the real and imaginary parts of the complex integral from the function of shear stresses obtained along the outer closed contour covering the hole being produced was taken as a criterion for the admissibility of the mode.

Keywords: drilling, brittle material, binary classifier, complex stress.

BIBLIOGRAPHY

1. Nemenko A.V. Diagnostika ranney stadii ustalosti vrashchayushchikhsya detaley mashin/A.V. Nemenko, M.M. Nikitin//Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologiy, №5(349), 2021, S.151-157.

2. Lavrent'yev M.A. Metody teorii funktsiy kompleksnogo issledovaniya/M.A. Lavrent'yev, B.V. Shabat//M.: Nauka, 1987. – 688 s.

Nemenko Alexandra Vasilevna

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol

Ph.D. in Tech Science, assistant professor of chair «Technical Mechanics and Machine Science»

Universitetskayast, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053

Phone. +79788330519

E-mail: valesan@list.ru

Nikitin Michael Mikhailovich

FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol

Lecturer of chair «Higher Mathematics »

Universitetskayast, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053

Phone +79788150316

E-mail: m.nikitin.1979@gmail.com

УДК 621.78.015.07

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-56-61

И.Н. КРАВЧЕНКО, С.В. КАРЦЕВ, Ю.А. КУЗНЕЦОВ,
Л.Н. КУРДЮМОВА, Г.Б. ПАНКОВ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В НАПЫЛЕННЫХ И ОПЛАВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ

Аннотация. Остаточные напряжения в покрытиях, нанесенных плазменными методами, влияют на прочность сцепления с основой двояко. С одной стороны, они способствуют уменьшению напряжений в основе,

а с другой, способствуют увеличению напряжений в основе выше, чем они были бы в отсутствие покрытия. При этом величина и знак напряжений зависят как от физических свойств соединяемых материалов, так и от геометрических размеров восстанавливаемой детали, а также условий нанесения покрытия. Решению этой проблемы посвящена данная работа, в которой экспериментально продиагностированы поверхностные остаточные напряжения в металлических покрытиях, нанесенных плазменными методами при восстановлении и упрочнении деталей машин.

Ключевые слова: остаточные напряжения, плазменные методы, диагностирование, неразрушающий контроль, восстановление и упрочнение деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барвинок В.А. Определение остаточных напряжений в напыленных покрытиях / В.А. Барвинок, В.И. Богданович // Известия вузов: Машиностроение. – 1981. – № 9. – С. 100–103.
2. Кравченко И.Н. Формирование остаточных напряжений в системе деталь-покрытие с использованием методов численного анализа / И.Н. Кравченко, О.Я. Москаль, Е.В. Панкратова [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – №10. – С. 44–50.
3. Кравченко И.Н. Математическое моделирование процесса развития остаточных напряжений при формировании плазменных покрытий / И.Н. Кравченко, В.В. Сельдяков, Е.М. Бобряшов, А.Ф. Пузряков // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 11. – С. 77–80.
4. Кравченко И.Н. Исследования прочности плазменных покрытий повышенной толщины путем регулирования внутренних напряжений / И.Н. Кравченко, М.А. Глинский, А.А. Коломейченко [и др.] // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». – 2017. – № 5 (81). – С. 40–48.
5. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) // В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
6. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей машин // В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин, И.Г. Голубев. – М.: Росинформагротех, 2016. – 568 с.
7. Голубев И.Г. Технологические процессы ремонтного производства // И.Г. Голубев, В.М. Тараторкин. – 4-изд., исп. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. – 304 с.
8. Биргер И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
9. Мрочек Ж.А. Остаточные напряжения / Ж.А. Мрочек, С.С. Макаревич, Л.М. Кожуро [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 352 с.
10. Летуновский А.П. Снятие остаточных напряжений низкочастотной виброобработкой / А.П. Летуновский, А.А. Антонов, О.И. Стеклов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 8. – С. 12–16.
11. Васильков Д.В. Иванов С.Ю. Васильев Д.В. Применение аппаратуры СИТОН для исследования технологической наследственности при изготовлении деталей летательных аппаратов / Д.В. Васильков, С.Ю. Иванов, Д.В. Васильев // Инструмент и технологии. – 2004. – № 19–20. – С. 24–30.
12. Валетов В.А. Аппаратура СИТОН неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния в металлах и сплавах и ее эффективное применение / В.А. Валетов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2005. – № 20. – С. 265–269.
13. Кравченко И.Н. Модель определения остаточных напряжений в плазменных покрытиях / И.Н. Кравченко, А.В. Коломейченко, Ю.Н. Баранов [и др.] // Технология машиностроения. – 2017. – № 5. – С. 59–64.
14. Марков М.А. Особенности определения внутренних напряжений в функциональных покрытиях / М.А. Марков, Ю.А. Кузнецов, А.В. Красиков [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2020. – № 9. – С. 29–33.
15. Kravchenko I.N. Metallographic Studies into the Structure and Physicomechanical Properties of Coatings Obtained Using Plasma Methods / I.N. Kravchenko, S.V. Kartsev, S.A. Velichko [et al.] // Metallurgist. – 2021. – Vol. 65. – No. 7-8. – P. 893–903.
16. Скворцов В.Ф. Применение метода Н.Н. Давиденкова для оценки окружных напряжений в обработанных дорнованием полых цилиндрах / В.Ф. Скворцов, А.Ю. Арляпов, А.О. Бознак [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 4 (32). – С. 65–70.
17. Летуновский А.П. Снятие остаточных механических напряжений металла методом низкочастотной виброобработки / А.П. Летуновский // Тяжелое машиностроение. – 2012. – № 7. – С. 47–50.
18. Буркин С.П. Металлургия. Остаточные напряжения в металлопродукции / С.П. Буркин, Г.В. Шимов, Е.А. Андрюкова. – М.: Юрайт, 2020. – 247 с.
19. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий / В.А. Барвинок. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

Кравченко Игорь Николаевич
Российский государственный
аграрный университет – МСХА им.

Карцев Сергей Васильевич
Институт машиноведения им. А.А.
Благонравова Российской академии

Кузнецов Юрий
Алексеевич
Орловский государственный

К.А. Тимирязева
(г. Москва),
Институт машиноведения им. А.А.
Благонравова Российской академии
наук (г. Москва),
доктор технических наук, профессор
Тел: +79162427886
kravchenko-in71@yandex.ru

наук (г. Москва),
кандидат технических наук, доцент
Тел: +79258806950
kazo61@mail.ru

аграрный университет им.
Н.В. Парахина (г. Орел),
доктор технических наук,
профессор
Тел: +79208289219
kentury@yandex.ru

Курдюмова Лариса Николаевна
Орловский государственный
университет
имени И.С. Тургенева,
кандидат технических наук,
доцент кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34

Панков Григорий Борисович
Орловский государственный
аграрный университет им. Н.В.
Парахина (г. Орел),
аспирант
Тел: +79208261723
grigo-pankov@mail.ru

I.N. KRAVCHENKO, S.V. KARTSEV, YU.A. KUZNETSOV,
L.N. KURDYUMOVA, G.B. PANKOV

DIAGNOSTICS OF RESIDUAL STRESSES IN SPUTTERED AND MELTED COATINGS

Abstract. *Residual stresses in coatings applied by plasma methods affect the strength of adhesion to the substrate in two ways. On the one hand, they contribute to the reduction of stresses in the substrate, and on the other hand, they contribute to an increase in stresses in the substrate higher than they would be in the absence of a coating. In this case, the magnitude and sign of stresses depend both on the physical properties of the materials being joined, and on the geometric dimensions of the part to be restored, as well as on the conditions of coating application. This work is devoted to the solution of this problem, in which surface residual stresses in metal coatings deposited by plasma methods during the restoration and hardening of machine parts are experimentally diagnosed.*

Keywords: *residual stresses, plasma methods, diagnostics, non-destructive testing, restoration and hardening of parts.*

BIBLIOGRAPHY

1. Novikov A.D., Tarapanov A.S., Selemenev M.F. The mechanism of increasing the resistance of thread formers when using nanocoatings // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2020. No. 3 (341). pp. 39–44.
2. Selemenev M.F., Velichko S.A., Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Martynov A.V. Coatings to Improve Hole Production by Mandrels // Russian Engineering Research. 2021 Vol. 41. No. 3. Pp. 269–271.
3. B. V. Deryagin, N. A. Krotova, and V. L. Smilga, Adhesion of Solids. M.: Nauka, 1973. - 280 p.
4. L. D. Landau and V. M. Lifshits, Statistical Physics. M.: Nauka, 1976. 477 p.
5. M. B. Partenskii, "Self-consistent electron theory of a metallic surface," Uspekhi fizicheskikh nauk. 1979. Vol. 128. Issue. 1. S. 69 - 106.
6. A. N. Vakilov, M. V. Mamonova, and V. V. Prudnikov, "Adhesion of metals and semiconductors within the dielectric formalism," Fiz. 1997. V. 39. No. 6. - S. 964 - 967.
7. V. S. Shorkin, "Model of a Continuous Elastic Medium Based on the Concept of Long-Range Potential Interaction of Its Particles," Elasticity and Inelasticity. Ed. I. A. Kiyko, R. A. Vasina, G. L. Brovko. M.: Lenand, 2006. S. 271 - 282.
8. Azarov A. S., Shorkin V. S. A method for estimating the values of gradient media additional to the classical material constants by taking into account the triple interaction of particles. Izvestiya TulGU, series "Natural Sciences". 2009. Issue. 1. S. 28 - 40.
9. Frolenkova L. Yu. The method of calculating the adhesion energy taking into account the triple interaction of medium particles. Izvestia OrelGTU, series "Fundamental and applied problems of engineering and technology". 2009. No. 4. S. 22 - 26.

Kravchenko Igor Nikolaevich
Russian State Agrarian University -
Moscow Agricultural Academy.
K.A. Timiryazev

Kartsev Sergey Vasilievich
Institute of Mechanical Engineering.
A.A. Blagonravov of the Russian
Academy of Sciences (Moscow),

Kuznetsov Yuri Alekseevich
Oryol State Agrarian University. N.V.
Parakhina (Orel),
doctor of technical sciences, professor

(Moscow city),
Institute of Mechanical
Engineering, A.A. Blagonravov of
the Russian Academy of Sciences
(Moscow),
doctor of technical sciences,
professor
Tel: +79162427886
kravchenko-in71@yandex.ru

candidate of technical sciences, Tel: +79208289219
associate professor kentury@yandex.ru
Tel: +79258806950
kazo61@mail.ru

Kurdyumova Larisa Nikolaevna
Orel State University
named after I.S. Turgenev,
candidate of technical sciences,
Associate Professor of the
Department of Mechanical
Engineering
Oryolst. Moskovskaya d. 34

Pankov Grigory Borisovich
Oryol State Agrarian University. N.V.
Parakhina (Orel),
graduate student
Tel: +79208261723
grigo-pankov@mail.ru

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-62-67

А.Н. ТКАЧЕНКО, С.Г. ДАНИЛЬЧЕНКО, А.В. ПЕТРУХИН, А.В. ШАМРИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕРЫВИСТОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕДИ, ОБРАБОТАННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Аннотация. В статье показана актуальность и научная значимость в применении процесса прерывистого выглаживания плоских поверхностей электротехнических деталей из меди, обработанных комбинированным способом. Установлено, что при алмазном выглаживании деталей с неравномерной твердостью и исходной шероховатостью поверхности перед чистовым точением комбинированным инструментом с продольным расположением резца и выглаживателя, составляющая шероховатости оказывает существенное влияние на общую шероховатость плоской торцевой поверхности.

Ключевые слова: механическая обработка, комбинированный способ обработки, алмазное выглаживание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браславский, В. М. Технология обкатки крупных деталей ролика [Текст] / В. М. Браславский. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1975. – 159 с.
2. Жирков, А. А. Повышение стойкости резцов управляемым импульсным воздействием при прерывистом резании [Текст] / А. А. Жирков; Дис. ... канд. техн. наук / Орловский государственный технический университет. – Орёл, 2005. – 152 с.
3. Киричек, А. В. Повышение качества аморфной ленты технологическими методами обработки литейных дисков из сплавов меди [Текст] / А. В. Киричек; Дис. ... канд. техн. наук / Московский институт приборостроения. – М., 1992. – 202 с.
4. Затухающие колебания [Электронный ресурс] // Полный курс лекций по физике. – Режим доступа: <http://physics-lectures.ru/mexanicheskii-kolebaniya-i-volny/7-7-zatuxayushhie-kolebaniya/> (дата обращения: 09.03.2012).
5. Торбило, В. М. Алмазное выглаживание [Текст] / В. М. Торбило. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.

Ткаченко Артем Николаевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, кандидат технических
наук, доцент кафедры машиностроения
Тел: +79606436332
artyom270286@yandex.ru

Данильченко Станислав Геннадьевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79538104739

Петрухин Антон Владимирович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79208166698

Шамрин Алексей Вячеславович
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79534735325

A.N. TKACHENKO, S.G. DANILCHENKO, A.V. PETRUKHIN, A.V. SHAMRIN

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF INTERMITTENT BLINDING OF FLAT SURFACES OF ELECTRICAL PARTS FROM COPPER PROCESSED BY A COMBINED METHOD

Abstract. *The article shows the relevance and scientific significance in the application of the process of intermittent smoothing of flat surfaces of electrical parts made of copper processed in a combined way. It has been established that during diamond smoothing of parts with uneven hardness and initial surface roughness before finishing turning with a combined tool with a longitudinal cutter and smoother, the roughness component has a significant effect on the overall roughness of a flat end surface.*

Keywords: *mechanical processing, combined method of processing, milling, diamond smoothing.*

BIBLIOGRAPHY

1. Braslavsky, V. M. Technology of running large roller parts [Text] / V. M. Braslavsky. - second edition. - M.: Mashinostroenie, 1975. - 159 pages.
2. Zhirkov, A. A. Increasing tool life by controlled pulsation in interrupted cutting [Text] / A. A. Zhirkov: Dis....cool. Technologies.Sciences/Oryol State Technical University. - Eagle, 2005. - 152 pages.
3. Kirichek, A. V. Improving the quality of amorphous tapes by processing casting disks from copper alloys [Text] / A. V. Kirichek: Dis....cool. Technologies.Sciences/Moscow Institute of Instrumentation. - M., 1992. - 202 p.
4. Damped oscillations [Electronic resource] // Full course of lectures on physics. – Access mode: <http://physics-lectures.ru/mexanicheski-kolebaniya-i-volny/7-7-zatuxayushhie-kolebaniya/> (date of access: 03/09/2012).
5. Torbilo, V. M. Diamond polish [text] / V. M. Torbilo. - M.: Mashinostroenie, 1972. - 105 pages.

Tkachenko Artem Nikolaevich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, candidate of technical
sciences, associate professor of mechanical engineering
Tel: +79606436332
artyom270286@yandex.ru

Petrukhin Anton Vladimirovich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, master
Тел: +79208166698

Danilchenko Stanislav Gennadievich

Oryol State University
named after I.S. Turgeneva, Master
Тел: +79538104739

Shamrin Alexey Vyacheslavovich

Oryol State University named
after I.S.Turgenev, Master
Oryolst.Moscow, 34
Tel: +79534735325
alexei.shamrin@yandex.ru

УДК 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-68-73

Л.Ю. ФРОЛЕНКОВА, М.Ф.СЕЛЕМЕНЕВ, А.Д. НОВИКОВ, А.С. ОЛЕЙНИК

ГРАДИЕНТНАЯ ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ ПРОЧНОСТИ ПЛЕНОК ЭПИЛАМОВ ПРИ АДГЕЗИОННОМ КОНТАКТЕ

Аннотация. *В статье приведены теоретические расчеты энергии адгезии и поверхностной энергии, произведенные различными методами. Показано, что поверхностная энергия, как и энергия адгезии, концентрируются в приповерхностных слоях толщиной не более нанометра, их появление обусловлено особыми свойствами нанослоев, описываемых в предложенной теории.*

Ключевые слова: *поверхностная энергия, эпиламы, механическая обработка.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.Д., Тарапанов А.С., Селеменев М.Ф. Механизм повышения стойкости раскатников резьбы при применении нанопокровов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. № 3 (341). С. 39–44.
2. Selemenov M.F., Velichko S.A., Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Martynov A.V. Coatings to Improve Hole Production by Mandrels // Russian Engineering Research. 2021. Vol. 41. No. 3. Pp. 269–271.
3. Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В. Л. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. – 280 с.

4. Ландау Л. Д., Лифшиц В. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. 477 с.
5. Партенский М. Б. Самосогласованная электронная теория металлической поверхности // Успехи физических наук. 1979. Т. 128. Вып. 1. С. 69 – 106.
6. Вакилов А. Н., Мамонова М. В., Прудников В. В. Адгезия металлов и полупроводников в рамках диэлектрического формализма // Физика твердого тела. 1997. Т. 39. № 6. – С. 964 – 967.
7. Шоркин В. С. Модель сплошной упругой среды, основанная на представлении о дальнедействующем потенциальном взаимодействии ее частиц // Упругость и неупругость. Под ред. И. А. Кийко, Р.А. Васина, Г. Л. Бровко. М.: Ленанд, 2006. С. 271 – 282.
8. Азаров А. С., Шоркин В. С. Способ оценки значений дополнительных к классическим материальным констант градиентных сред с помощью учета тройного взаимодействия частиц // Известия ТулГУ, серия "Естественные науки". 2009. Вып. 1. С. 28 – 40.
9. Фроленкова Л. Ю. Методика расчета энергии адгезии с учетом тройного взаимодействия частиц среды // Известие ОрелГТУ, серия "Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии". 2009. № 4. С. 22 – 26.

Селеменев Михаил Федорович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, кандидат технических
наук, доцент кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79102670717
Selemenev2007@yandex.ru

Фроленкова Лариса Юрьевна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, доктор технических
наук, профессор кафедры машиностроения
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел.: +79103017320
larafrilenkova@yandex.ru

Новиков Александр Дмитриевич

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, аспирант
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79103033373
sasha.waw@mail.ru

Олейник Анна Сергеевна

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева, магистр
г. Орёл ул. Московская д. 34
Тел: +79966343043
anna.oleynik97@list.ru

L.YU. FROLENKOVA, M.F. SELEMENEV, A.D. NOVIKOV, A.S. OLEYNIK

GRADIENT THEORY OF ELASTIC STRENGTH OF EPILAM FILMS UNDER ADHESIVE CONTACT

Abstract. *The article presents theoretical calculations of the adhesion energy and surface energy, produced by various methods. It is shown that the surface energy, as well as the adhesion energy, are concentrated in near-surface layers with a thickness of no more than a nanometer; their appearance is due to the special properties of the nanolayers described in the proposed theory.*

Keywords: *surface energy, epilames, machining.*

BIBLIOGRAPHY

1. Novikov A.D., Tarapanov A.S., Selemenev M.F. The mechanism of increasing the resistance of thread formers when using nanocoatings // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2020. No. 3 (341). pp. 39–44.
2. Selemenev M.F., Velichko S.A., Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Martynov A.V. Coatings to Improve Hole Production by Mandrels // Russian Engineering Research. 2021 Vol. 41. No. 3. Pp. 269–271.
3. B. V. Deryagin, N. A. Krotova, and V. L. Smilga, Adhesion of Solids. M.: Nauka, 1973. - 280 p.
4. L. D. Landau and V. M. Lifshits, Statistical Physics. M.: Nauka, 1976. 477 p.
5. M. B. Partenskii, "Self-consistent electron theory of a metallic surface," Uspekhi fizicheskikh nauk. 1979. Vol. 128. Issue. 1. S. 69 - 106.
6. A. N. Vakilov, M. V. Mamonova, and V. V. Prudnikov, "Adhesion of metals and semiconductors within the dielectric formalism," Fiz. 1997. V. 39. No. 6. - S. 964 - 967.
7. V. S. Shorkin, "Model of a Continuous Elastic Medium Based on the Concept of Long-Range Potential Interaction of Its Particles," Elasticity and Inelasticity. Ed. I. A. Kiyko, R. A. Vasina, G. L. Brovko. M.: Lenand, 2006. S. 271 - 282.
8. Azarov A. S., Shorkin V. S. A method for estimating the values of gradient media additional to the classical material constants by taking into account the triple interaction of particles. Izvestiya TulGU, series "Natural Sciences". 2009. Issue. 1. S. 28 - 40.
9. Frolenkova L. Yu. The method of calculating the adhesion energy taking into account the triple interaction of medium particles. Izvestia Orel GTU, series "Fundamental and applied problems of engineering and technology". 2009. No. 4. S. 22 - 26.

Selemenev Mikhail Fedorovich

Novikov Alexander Dmitrievich

Orel State University
named after I.S. Turgenev, postgraduate student

Oryol State University named after I.S.Turgenev,
Candidate of Technical Sci., Associate Professor of the
Department of Mechanical Engineering
Oryolst.Moscow, 34
Tel: +79102670717
Selemenev2007@yandex.ru

Oryolst.Moskovskaya d. 34
Tel: +79103033373
sasha.waw@mail.ru

Frolenkova Larisa Yurievna
Oryol State University named after I.S.Turgeneva,
Doctor of Technical Sci., Professor of the Department of
Mechanical Engineering
Oryolst.Moscow, 34
Tel.: +79103017320
lara.frolenkova@yandex.ru

Oleinik Anna Sergeevna
Orel State University
named after I.S. Turgenev, master
Oryolst.Moskovskaya d. 34
Tel: +79966343043
anna.oleynik97@list.ru

УДК 621.9+51-74

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-74-78

В.И. ГОЛОВИН, С.Ю. РАДЧЕНКО

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ БИОКОМПОЗИТОВ, АРМИРОВАННЫХ НАТУРАЛЬНЫМИ ВОЛОКНАМИ

Аннотация. Проведен конечно-элементный анализ процесса сверления в двух биокomпозитных материалах. Результаты моделирования показывают, что различное армирование (льняное и базальтовое волокно) композиционных материалов существенно влияет на степень сопротивления, прочности, деформации и эластичности, проявляемые в процессе обработки. Эксперимент показал, что на качество отверстий повлияли характеристики этих материалов. Кроме того, наблюдались значительные различия в прочности на растяжение и воздействии операции сверления на слои обоих материалов. Первый материал подвергался более высокому напряжению, что приводило к более высокому уровню деламации. Тканый полимер, армированный базальтовым волокном, имеет лучшую обрабатываемость по сравнению с тканым льняно-базальтовым образцом.

Ключевые слова: сверление, композиционный материал, биокomпозиты, метод конечных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дасковский М.И., Дориомедов М.С., Севастьянов Д.В., Скрипачев С.Ю. Полимерные биокomпозиты - перспективы применения (обзор). // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 3 (48). С. 74-80.
2. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. // СПб.: НОТ. 2008. 820 с.
3. Кербер М.Л., Виноградов В.М. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. // СПб.: Профессия. 2009. 560 с.
4. А. Е. Раскутин, А. В. Хрульков, Р. И. Гирш. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №9.
5. Дударев А.С., Илюшкин М.В., Николаев И.Ф. Моделирование процесса сверления слоистого материала в LS-DYNA // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 64–74. DOI: 10.15593/2224-9877/2020.2.08
6. P.K. Rakesh, V. Sharma, I. Singh and D. Kumar, Delamination in fibre reinforced plastics: A finite element approach, Engineering 3 (2011), 549-554.
7. S.O., Ismail, H.N., Dhakal, E. Dimla, J. Beaugrand and I. Popov, Effects of drilling parameters and aspect ratios on delamination and surface roughness of lignocellulosic HFRP composite laminates, Journal of Applied Polymer Science 133 (2016), 1-8.

Головин Василий Игоревич
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет», г. Севастополь
Кандидат технических наук, доцент, директор
Политехнического института
299000, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
Тел. (8692) 55-00-77
E-mail: golovin@sevsu.ru

Радченко Сергей Юрьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор технических наук, профессор, проректор по
научно-технологической деятельности и аттестации
научных кадров
302026, Орловская область, г. Орел,
ул. Комсомольская, д. 95
Тел. (4862) 47-50-71
E-mail: radsu@rambler.ru

V.I. GOLOVIN, S.YU. RADCHENKO

FINITE ELEMENT SIMULATION OF THE DRILLING PROCESS OF POLYMER BIOCOMPOSITES REINFORCED WITH NATURAL FIBERS

Abstract. A finite element analysis of the drilling process in two biocomposite materials was carried out. The simulation results show that different reinforcement (linen and basalt fiber) of composite materials significantly affects the degree of resistance, strength, deformation and elasticity that appear during processing. The experiment showed that the quality of the holes was affected by the characteristics of these materials. In addition, significant differences were observed in the tensile strength and impact of the drilling operation on the layers of both materials. The first material was subjected to a higher stress resulting in a higher level of delamination. The woven polymer reinforced with basalt fiber has better machinability compared to the woven flax-basalt sample.

Keywords: drilling, composite material, biocomposites, finite element method.

BIBLIOGRAPHY

1. Daskovskiy M.I., Doriomedov M.S., Sevast'yanov D.V., Skripachev S.YU. Polimernyye biokompozity - perspektivy primeneniya (obzor). // Aviatsionnyye materialy i tekhnologii. 2017. № 3 (48). S. 74-80.
2. Mihajlin YU.A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy. // SPb.: NOT. 2008. 820 s.
3. Kerber M.L., Vinogradov V.M. Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya. // SPb.: Professiya. 2009. 560 s.
4. A. E. Raskutin, A. V. Hrul'kov, R. I. Girsh. Tekhnologicheskie osobennosti mekhanooobrabotki kompozitsionnykh materialov pri izgotovlenii detalej konstruktsij // Trudy VIAM: elektron. nauch.-tekhnich. zhurn. 2016. №9.
5. Dudarev A.S., Ilyushkin M.V., Nikolayev I.F. Modelirovaniye protsessa sverleniya slojev materiala v LS-DYNA // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroyeniye, materialovedeniye. – 2020. – T. 22, № 2. – S. 64–74. DOI: 10.15593/2224-9877/2020.2.08
6. P.K. Rakesh, V. Sharma, I. Singh and D. Kumar, Delamination in fibre reinforced plastics: A finite element approach, Engineering 3 (2011), 549-554.
7. S.O., Ismail, H.N., Dhakal, E. Dimla, J. Beaugrand and I. Popov, Effects of drilling parameters and aspect ratios on delamination and surface roughness of lignocellulosic HFRP composite laminates, Journal of Applied Polymer Science 133 (2016), 1-8.

Golovin Vasily Igorevich

FGAOU VO "Sevastopol State University", Sevastopol
Candidate of Engineering Sciences, Docent, Director of
Polytechnic Institute.
299000, Sevastopol, Universitetskaya str., 33
Ph. 55-00-77
E-mail: golovin@sevsu.ru

Radchenko Sergey Yuryevich

FGBOU VO «OGU im. I.S. Turgeneva», Orel
Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-rector
for scientific and technological activities and
certification of scientific personnel
302026, Орловская область, г. Орел,
ул. Комсомольская, д. 95
Ph. (4862)47-50-71
E-mail: radsu@rambler.ru

УДК 656.61.08

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-79-85

А.Ю. ГАРШИН, В.Ю. ЛАТЫШЕВ

ОЦЕНКА ДИСПЕРСИЙ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПО ПРОВЕРКЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ВОССТАНОВЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ПРИ ЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИИ В ПОСЛЕАВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Аннотация. Показан один из способов вероятностной оценки опасности и риска использования судового технического средства в послеаварийной ситуации после его диагностирования и восстановления на функциональных структурных моделях путем анализа системы согласованных показателей безошибочности, бездефектности и безаварийности. Дисперсии времени выполнения операций позволяют существенным образом повысить достоверность и точность разработанных вероятностных моделей.

Ключевые слова: опасность, безопасность, риск опасности, показатели безошибочности, времени, ресурсности, математических ожиданий времени и дисперсии времени выполнения проверки работоспособности и восстановления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Van Vuuren W, van der Schaf T.W. The influence of safety culture on risks management // Proc. Tenth European Conf. on Safety and Reliability.- Rotterdam.-1999.-Vol. 2. P. 1261-1265.

2. Безопасность оборудования. Термины и определения: ГОСТ ЕН 1070-2003. – [Действует с 2004–07–01]. – М.: Госстандарт России, 2003. – 40 с. – (Межгосударственный стандарт).
3. Безопасность оборудования. Основные понятия, общие принципы конструирования. 4.1. Основные термины, методика: ГОСТ ИСО/ТО 12100-1-2001. – [Действует с 2003-01-01]. – 16 с.
4. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – 26 с.
5. Безопасность оборудования. Эргономические принципы конструирования. 4.1. Термины, определения и общие принципы: ГОСТ Р ЕН 614-1-2003. – 10 с.
6. Харченко В.С. Гарантоспособные системы и многоверсионные вычисления: аспекты эволюции / В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. № 7. – С. 46-59.
7. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии / В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2006. № 5. – С. 7-19.
8. Avizienis A. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing / Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B., Landwehr C. // *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. – 2004. vol. 1, № 1. P. 11-33.
9. Гаршин А.Ю. Исследование процесса диагностирования и восстановления человекомашинных систем путем анализа согласованных показателей безошибочности, времени, бездефектности и безаварийности / А.Ю. Гаршин // *Научно-технический журнал «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»* №3(317) 2016-4(318) 2016. Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2016. – С. 199-203.
10. Чабаненко П. П. Моделирование обучения операторов / Человек в измерениях XX века, т. 7 // *Педагогика и образовательные системы XX столетия*. – М.: Междунар. акад. проблем Человека в авиации и космонавтике. – 2005. – С. 431-459.
11. Чабаненко П. П. Вывод показателей качества человеко-машинных систем на основе функциональных сетей / П.П.Чабаненко // *Арсенал XXI века*. – 2002. – №1. – С.42 – 46.
12. Гаршин А.Ю. Терминология, определение и вероятностная оценка уровня опасности и риска использования судового технического средства в послеаварийной ситуации. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2019. № 58. С. 158-165.

Гаршин Александр Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
«Энергоустановки морских судов и сооружений»,
Морской институт ФГАОУ ВО «СевГУ»,
e-mail: aleksander.garshin@mail.ru

Латышев Василий Юрьевич

доцент, доцент кафедры «Энергоустановки морских
судов и сооружений»,
Морской институт ФГАОУ ВО «СевГУ»,
e-mail: vs.latyshhev@gmail.com

A.YU. GARSHIN, V.YU. LATYSHEV

ESTIMATION OF VARIANCES IN THE TIME OF OPERATIONS TO CHECK THE OPERABILITY AND RESTORE OF THE TECHNICAL MEANS WHEN IT IS DIAGNOSED IN A POST-ACCIDENT SITUATION

Abstract. *One of the methods of probabilistic assessment of the danger and risk of using a ship's technical means in a post-accident situation after its diagnosis and recovery on functional structural models is shown by analyzing a system of agreed indicators of error-free, defect-free and accident-free. Variances in the execution time of operations can significantly increase the reliability and accuracy of the developed probabilistic models.*

Keywords: *danger, safety, risk of danger, indicators of error-freeness, time, resource, mathematical expectations of time and variance of time of performance check and recovery.*

BIBLIOGRAPHY

1. Van Vuuren W, van der Schaf T.W. The influence of safety culture on risks management // *Proc. Tenth European Conf. on Safety and Reliability*.- Rotterdam.-1999.-Vol. 2. P. 1261-1265.
2. Bezopasnost' oborudovaniya. Terminy i opredeleniya: GOST EN 1070-2003. M. Gosstandart Rossii, 2003. – 40 p. (Mezhgosudarstvennyi standart).
3. Bezopasnost' oborudovaniya. Osnovnye ponyatiya, obshie principy konstruirovaniya. 4.1. osnovnie terminy, metodika: GOST ISO/TO 12100-1-2001. 16 p.
4. Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya: GOST 27.002-89. – 26 p.
5. Bezopasnost' oborudovaniya. Ergonomicheskiye principy konstruirovaniya. Terminy i opredeleniya: GOST R EN 614-1-2003. – 10 p.
6. Kharchenko V.S. Garantospobnyye sistemy i mnogoversionnye vychisleniy: aspekti evolyucii. 2009. № 7. – p. 46-59.
7. Kharchenko V.S. Garantospobnost' i garantospobnyye sistemy: element metodologii. Radioelektronye i kompyuterni sistemy. 2006. № 5. – p. 7-19.
8. Avizienis A. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing / Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B., Landwehr C. // *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. – 2004. vol. 1, № 1. P. 11-33.
9. Garshin A.Yu. Issledovanie processa diagnostirovaniya i vosstanovleniya chelovekomashinnikh system putem analiza soglasovannikh pokazatelei bezoshibochnosti, vremeni, bezdefektnosti i bezavariinosti / Nauchno-

tekhnikeskii zhurnal "Fundamentalnie i prikladnie problemi tekhniki i tekhnologii" №3(317) 2016-4(318) 2016. Orel: "Gosuniversitet-UNPK", 2016. S. 199-203.

10. Chabanenko P.P. Modelirovanie obucheniya operatorov. Chelovek v izmereniyakh XX veka, t. 7. Pedagogika i obrazovatel'nie sistemy XX stoletiya. M.: Mezhdunarodnaya akademiya problem cheloveka v aviatsii i kosmonavtike. 2005. p. 431-459.

11. Chabanenko P.P. Vyvod pokazatelei kachestva chelovekomashinnykh system na osnove funktsional'nykh seteyi. Arsenal XXI veka. 2002. №1. p.42 – 46.

12. Garshin A.Yu. Terminologiya, opredelenie i veroyatnostnaya ocenka urovnya opasnosti i riska ispolzovaniya sudovogo tekhnicheskogo sredstva v posleavariinoy situatsii. Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. 2019. № 58. С. 158-165.

Garshin Alexander Yurievich

candidate of technical sciences, Associate Professor,
Associate Professor of "Power ships and structures",
State University of Sevastopol, 299053, Sevastopol, street
14, Gogol
e-mail: aleksander.garshin@mail.ru,

Latyshev Vasilii Yurievich

Associate Professor of "Power ships and structures"
State University of Sevastopol, 299053, Sevastopol,
street 14, Gogol
e-mail: vs.latyshev@gmail.com,

УДК: 621.9

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-86-93

Г.В. БАРСУКОВ, Т.А. ЖУРАВЛЕВА, О.Г. КОЖУС, Е.М. СЕЛЕМЕНЕВА, Е.А. ПРАСОЛОВ

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ МЕДНОГО ШЛАКА НА СКОРОСТЬ И ГЛУБИНУ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВОГО АБРАЗИВА ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Аннотация. В статье представлены результаты изучения влияния характеристик абразивных частиц и, в частности, морфологии, на механизмы и скорости удаления материала при гидроабразивном резании для обеспечения возможности создания нового абразива повышенной прочности для этой технологии.

Ключевые слова: абразив, гидроабразивное резание, глубина резания, медный шлак, гранатовый песок

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 22-29-01599

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoogstrate, A.M., Pi, V.N., Karpushchewski, B. Cost optimization for multiple-head AWJ cutting. In Proceedings of the 18th International Conference on Water Jetting, Gdansk, Poland, 13-15 September 2006. 2006. 251-264.
2. Babu, M.K., Chetty, O.V.K. A study on recycling of abrasives in abrasive water jet machining. Wear 254, 2003, 763-773.
3. Mort, G.A., Results of abrasive water jet market survey. In Proceedings of the 8th American Water Jet Conference, vol. 1, 1995, 259-282.
4. Lemus Fonseca S. C. Characterization and testing of ferrous granules as an abrasive for waterjet cutting: дис. – University of British Columbia, 2018.
5. Aydin, G., Kaya, S., Karakurt, I. Utilization of solid-cutting waste of granite as an alternative abrasive in abrasive waterjet cutting of marble. Journal of Cleaner Production, 159, 2017. 241–247.
6. Khan, A. A., Haque, M. M., Performance of different abrasive materials during abrasive waterjet machining of glass. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 191(1-3), 404-407.
7. Cosansu, G., Cogun, C. An investigation on use of colemanite powder as abrasive in abrasive waterjet cutting (AWJC). Journal of Mechanical Science and Technology, 26(8), 2012. 2371–2380.
8. Harben P. W. The industrial minerals handbook: a guide to markets, specifications, & prices. – Metal Bulletin, 1999.
9. Gorai, B., Jana, R.K., Premchand. Characteristics and utilisation of copper slag—a review. Resources, Conservation and Recycling. 2003. T. 39. №. 4. 299-313.
10. Szyrle W, Wozniak K. The place of copper in the family of abrasive materials. Powloki Ochronne. 1988. 16(3). 16-19.
11. Hashish, M. Characteristics of surfaces machined with abrasive – waterjets. J. Eng. Mater. Technology 113(3). 1991. 354-362.
12. Барсуков Г.В., Журавлева Т.А., Кожус О.Г. Применение наномодифицированного абразива для гидроабразивного резания элементов кузова автомобилей из стеклопластика // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - № 2 (53). - С. 45-52.
13. Барсуков Г.В., Кожус О.Г. Исследование режущей способности наномодифицированного абразива из отходов цветного производства для гидроабразивного резания материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. № 2 (316). С. 79-86.

Барсуков Геннадий Валерьевич
Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева
доктор технических наук,
профессор кафедры
машиностроения
302026, г. Орел, ул.
Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Журавлева Татьяна Александровна
Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева
кандидат технических наук, докторант
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Кожус Ольга Геннадьевна
Орловский государственный
университет имени И.С.
Тургенева, г. Орел
кандидат технических наук, вед.
инж. Отдела организационного
сопровождения НИР
302026, г. Орел, ул.
Комсомольская, 95
Тел.: + 7 (4862) 413295
E-mail: okozhus@mail.ru

Селеменова Елена Михайловна
Орловский государственный
университет
имени И.С. Тургенева,
студентка
302026, г. Орел, ул.
Комсомольская, 95
Тел.: +79102036687
E-mail: SelemenewaL@mail.ru

Прасолов Егор Александрович
Орловский государственный
университет
имени И.С. Тургенева, аспирант
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел.: +79038813935
E-mail: prasolovegor@mail.ru

G.V. BARSUKOV, T.A. ZHURAVLEVA, O.G. KOZHUS,
E.M. SELEMENEVA, E.A. PRASOLOV

STUDYING THE INFLUENCE OF THE MORPHOLOGY OF ABRASIVE PARTICLES OF COPPER SLAG ON THE SPEED AND DEPTH OF WATERJET CUTTING TO CREATE A NEW ABRASIVE OF INCREASED STRENGTH

Abstract. *The article presents the results of studying the influence of the characteristics of abrasive particles and, in particular, morphology, on the mechanisms and rates of material removal during waterjet cutting to enable the creation of a new abrasive of increased strength for this technology.*

Keywords: *abrasive, waterjet cutting, depth of cut, copper slag, garnet sand.*

BIBLIOGRAPHY

1. Hoogstrate, A.M., Pi, V.N., Karpushchewski, B. Cost optimization for multiple-head AWJ cutting. In Proceedings of the 18th International Conference on Water Jetting, Gdansk, Poland, 13-15 September 2006. 2006. 251-264.
2. Babu, M.K., Chetty, O.V.K. A study on recycling of abrasives in abrasive water jet machining. Wear 254, 2003, 763-773.
3. Mort, G.A., Results of abrasive water jet market survey. In Proceedings of the 8th American Water Jet Conference, vol. 1, 1995, 259-282.
4. Lemus Fonseca S. C. Characterization and testing of ferrous granules as an abrasive for water jet cutting: Cand. – University of British Columbia, 2018.
5. Aydin, G., Kaya, S., Karakurt, I. Utilization of solid-cutting waste of granite as an alternative abrasive in abrasive waterjet cutting of marble. Journal of Cleaner Production, 159, 2017. 241-247.
6. Khan, A. A., Haque, M. M., Performance of different abrasive materials during abrasive water jet machining of glass. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 191(1-3), 404-407.
7. Cosansu, G., Cogun, C. An investigation on the use of colemanite powder as abrasive in abrasive waterjet cutting (AWJC). Journal of Mechanical Science and Technology, 26(8), 2012. 2371-2380.
8. Harben P. W. The industrial minerals handybook: a guide to markets, specifications, & prices. – Metal Bulletin, 1999.
9. Gorai, B., Jana, R.K., Premchand. Characteristics and utilization of copper slag—a review. Resources, Conservation and Recycling. 2003. Vol. 39. No. 4. 299-313.
10. Szyrle W, Wozniak K. The place of copper in the family of abrasive materials. Powloki Ochronne. 1988. 16(3). 16-19.
11. Hashish, M. Characteristics of surfaces machined with abrasive – waterjets. J.Eng. mater. Technology 113(3). 1991. 354-362.

12. Barsukov G.V., Zhuravleva T.A., Kozhus O.G. Application of nanomodified abrasive for hydroabrasive cutting of car body elements made of fiberglass // World of Transport and Technological Machines. - 2016. - No. 2 (53). - S. 45-52.

13. Barsukov G.V., Kozhus O.G. Investigation of the cutting ability of a nanomodified abrasive from non-ferrous waste for waterjet cutting of materials // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2016. No. 2 (316). pp. 79-86.

Barsukov Gennady Valeryevich
Orel State University
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of
Mechanical Engineering
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Zhuravleva Tatyana Alexandrovna
Orel State University
candidate of technical sciences,
doctoral candidate
302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95
Ph.: + 7 (4862) 413295
E-mail: awj@list.ru

Kozhus Olga Gennadievna
Orel State University
Leading Engineer
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: + 7 (4862) 413295
E-mail: okozhus@mail.ru

Selemeneva Elena Mikhailovna
Orel State University
Student
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: +79102036687
E-mail: SelemenevaL@mail.ru

Prasolov Egor Alexandrovich
Orel State University, Orel
graduate student
302026, Orel, Komsomolskaya st, 95
Ph.: +79038813935
E-mail: prasolovegor@mail.ru

МАШИНОВЕДЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.531

DOI:10.33979/2073-7408-2022-351-1-94-102

К.Д. БУХАРОВ, М.А. КУДРОВ, Л.А. РЫБАК

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ПОДВИЖНОСТИ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОЦИЛИНДРОВ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. В статье рассмотрено математическое моделирование шестистепенной платформы подвижности (РПП), которая может быть использована в составе тренажерного комплекса различных видов техники, включая авиационную и ракетно-космическую технику. Построена динамическая модель РПП с шестью электроцилиндрами (ЭЦ), используемыми в качестве приводных механизмов РПП. Рассмотрены различные траектории движения РПП и получены ошибки управления по положению штока электроцилиндра и ошибки по положению подвижной платформы. Приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова: шестистепенная платформа подвижности, механизмы параллельной структуры, электроцилиндр, гексапод, динамическая модель, система управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение № 075-11-2021-060 от 24.06.2021 г. «Создание высокотехнологичного производства роботизированных 6DOF платформ подвижности для тренажеров и симуляторов для авиационной и ракетно-космической отрасли» (уникальный номер 000000S407521QLB0002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерле, Ж.П.: Параллельные роботы, т. 128. Springer, Гейдельберг (2006).
2. Khalapyan S., Rybak L., Gaponenko E., Carbone G. Motion Control of 6-DOF Relative Manipulation Device // Mechanism Design for Robotics. 2021. pp. 217-225.
3. Rafael Balderas Hill, Sébastien Briot, Abdelhamid Chriette, Philippe Martinet. Minimizing the Energy Consumption of a Delta Robot by Exploiting the Natural Dynamics. RoManSy 2020 – 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, Sep 2020, Sapporo / Virtual, Japan.
4. Gabutdinov N.R., Glazunov V.A., Filippov D.N. Mehanizmy parallelnoj struktury s shestju stepenjami svobody, razrabotannye v Institute mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN // Izvestiya vyssh.uch.zaved. Mashinostroenie. 2014. no. 7. pp. 83–89.
5. Rybak L.A., Gaponenko E.V., Khalapyan S.Y. Issues of planning trajectory of parallel robots taking into account zones of singularity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 042092
6. Liu X.J., Wang J., Oh K.K., Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 39. Iss. 2. P. 209–225.

7. Rashoyan G.V., Lastochkin A.B., Glazunov V.A. Kinematic Analysis of a Spatial Parallel Structure Mechanism with a Circular Guide // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Vol. 44. Iss. 7. P. 626–632.
8. Zabalza I., Ros J., Gil J., Pintor J.M., Jimenez J.M. TRI-SCOTT. A New Kinematic Structure for a 6-DOF Decoupled Parallel Manipulator // Proceedings of Workshop on Fundamental Issues and Future Directions for Parallel Mechanics and Manipulators. Québec, 2002. P. 12–15.
9. Brinker J., Schmitz M., Takeda Y., Corves B. Dynamic Modeling of Functionally Extended Delta-Like Parallel Robots with Virtual Tree Structures // ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics and Control. Springer, Cham, 2018. P. 171–179.
10. Горбунов А.В., Коротков Е.Б., Леканов А.В., Матвеев С.А., Слободзян Н.С., Яковенко Н.Г. Опыт разработки системы управления механизмами с параллельной структурой типа «гексапод» для позиционирования и наведения крупногабаритных объектов информационных космических платформ // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 7. С. 111–123. DOI 10.21778/2218-5453-2018-7-111-123.

Бухаров Кирилл Дмитриевич
Московский физико-технический институт
К.т.н., ведущий научный сотрудник
141701, Институтский пер., 9, г. Долгопрудный,
Московская обл.,
Тел.+7 (925) 020 94 41
E-mail: bukharovkd@gmail.com

Кудров Максим Александрович
Московского физико-технического института
К.т.н., внс, зав. лаб. информационных технологий и прикладной математики
141701, Институтский пер., 9, г. Долгопрудный,
Московская обл.,
Тел.+7 (926)547 49 27
E-mail: mkudrov@mail.ru

Рыбак Лариса Александровна
Белгородский Государственный Технологический Университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, г. Белгород
Профессор, каф. ТМ, рук. НИИ РТ и СУ
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Тел. +7(4722) 23-05-30
E-mail: rl_bgtu@intbel.ru

K.D. BUCHAROV, M.A. KUDROV, L.A. RYBAK

SIMULATION OF THE DYNAMICS OF A ROBOTIC MOBILITY PLATFORM BASED ON ELECTRIC CYLINDERS FOR TRAINING COMPLEXES

Abstract. *The article discusses the mathematical modeling of a six-stage platform of mobility (PMM), which can be used as part of a training complex for various types of equipment, including aviation and rocket-space technology. A dynamic model of the RDZ with six electric cylinders (EC), serving as the actuating mechanisms of the RDD, has been built. Various trajectories of the RPD are considered and errors of control by the position of the rod of the electric cylinder and errors by the position of the movable platform are obtained. The results of mathematical modeling are presented.*

Keywords: *six-degree platform of mobility, mechanisms of parallel structure, electric cylinder, hexapod, dynamic model, control system.*

BIBLIOGRAPHY

1. Merle, ZH.P.: Parallel'nye roboty, p. 128. Springer, Heidelberg (2006).
2. Khalapyan S., Rybak L., Gaponenko E., Carbone G. Motion Control of 6-DOF Relative Manipulation Device // Mechanism Design for Robotics. 2021. pp. 217–225.
3. Rafael Balderas Hill, Sébastien Briot, Abdelhamid Chriette, Philippe Martinet. Minimizing the Energy Consumption of a Delta Robot by Exploiting the Natural Dynamics. RoManSy 2020 – 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, Sep 2020, Sapporo / Virtual, Japan.
4. Gabutdinov N.R., Glazunov V.A., Filippov D.N. Mehanizmy parallelnoj struktury s shestju stepenjami svobody, razrabotannye v Institute mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN // Izvestija vyssh.uch.zaved. Mashinostroyeniye. 2014. no. 7. pp. 83–89.
5. Rybak L.A., Gaponenko E.V., Khalapyan S.Y. Issues of planning trajectory of parallel robots taking into account zones of singularity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 042092
6. Liu X.J., Wang J., Oh K.K., Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 39. Iss. 2. P. 209–225.
7. Rashoyan G.V., Lastochkin A.B., Glazunov V.A. Kinematic Analysis of a Spatial Parallel Structure Mechanism with a Circular Guide // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Vol. 44. Iss. 7. P. 626–632.
8. Zabalza I., Ros J., Gil J., Pintor J.M., Jimenez J.M. TRI-SCOTT. A New Kinematic Structure for a 6-DOF Decoupled Parallel Manipulator // Proceedings of Workshop on Fundamental Issues and Future Directions for Parallel Mechanics and Manipulators. Québec, 2002. P. 12–15.
9. Brinker J., Schmitz M., Takeda Y., Corves B. Dynamic Modeling of Functionally Extended Delta-Like Parallel Robots with Virtual Tree Structures // ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics and Control. Springer, Cham, 2018. P. 171–179.
10. Gorbunov A.V., Korotkov E.B., Lekanov A.V., Matveev S.A., Slobodzyan N.S., YAkovenko N.G. Opyt razrabotki sistemy upravleniya mekhanizmami s parallelnoj strukturoj tipa «geksapod» dlya pozicionirovaniya i

navedeniya krupnogabaritnyh ob"ektov informacionnyh kosmicheskikh platform // Voprosy radioelektroniki. 2018. № 7. P. 111–123. DOI 10.21778/2218-5453-2018-7-111-123.

Bukharov Kirill Dmitrievich
Moscow Institute of Physics and Technology
Ph.D. in Technology, Leading Researcher
141701, Institutskij per., 9, S. Dolgoprudny,
Moscow region, Russia
Тел.+7 (925) 020 94 41
E-mail: bukharovkd@gmail.com

Kudrov Maksim Aleksandrovich
Moscow Institute of Physics and Technology
Ph.D. in Technology, Leading Researcher, head of the laboratory information technology and applied mathematics
141701, Institutskij per., 9, S. Dolgoprudny,
Moscow region, Russia
Тел.+7 (926) 547 49 27
E-mail: mkudrov@mail.ru

Rybak Larisa Aleksandrovna
Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov (BSTU),
Professor, dep. TM, dir. NII RT and SU
308012, Kostukova 46, Belgorod, Russia
Тел. +7(4722) 23-05-30
E-mail: rl_bgstu@intbel.ru

УДК 621.822

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-103-109

А.В. КОРНАЕВ, Д.В. ШУТИН, Ю.Н. КАЗАКОВ

КЛАССИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РЕГУЛИРУЕМЫХ ОПОРАХ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Аннотация: В работе рассмотрено применение классических методов управления в роторных машинах. Представлена концепция подшипникового узла с изменяемой геометрией зазора. Представлена математическая модель ротора на активном подшипнике жидкостного трения. Приведены результаты моделирования с использованием ПИ-регулятора с целью минимизации потерь на трение. Предложен способ совершенствования ПИ-регулятора для улучшения процесса регулирования.

Ключевые слова: управляемые опоры жидкостного трения, конические подшипники жидкостного трения, моделирование опор жидкостного трения, ПИ-контроллер, классические системы управления.

Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта Президента Российской Федерации № МД -129.2020.8. Авторы с благодарностью признают эту поддержку.

MATLAB&SIMULINK License: 40944936.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. C. De Moraes and R. Nicoletti Hydrodynamic bearing with electromagnetic actuators: Rotor vibration control and limitations/ D. C. De Moraes and R. Nicoletti // Proc. ISMA 2010 - Int. Conf. Noise Vib. Eng. Incl. USD 2010, pp. 3715–3721
2. D. S. Alves, M. F. Wu, and K. L. Cavalca Application of gain-scheduled vibration control to nonlinear journal-bearing supported rotor/ D. S. Alves, M. F. Wu, and K. L. Cavalca // J. Sound Vib.-2019. vol. 442, pp. 714–737, doi: 10.1016/j.jsv.2018.11.027.
3. J. Tůma, J. Šimek, J. Škuta, and J. Los Active vibrations control of journal bearings with the use of piezoactuators/ J. Tůma, J. Šimek, J. Škuta, and J. Los // Mech. Syst. Signal Process.-2013. vol. 36, no. 2, pp. 618–629, doi: 10.1016/j.ymssp.2012.11.010.
4. [I. F. Santos and F. Y. Watanabe Compensation of cross-coupling stiffness and increase of direct damping in multirecess journal bearings using active hybrid lubrication: Part i-theory/ I. F. Santos and F. Y. Watanabe // J. Tribol.-2004. vol. 126, no. 1, pp. 146–155, doi: 10.1115/1.1631015.
5. Ilmar Santos, Stefano Morosi Experimental investigations of active air bearings/Ilmar Santos, Stefano Morosi // ASME Turbo Expo 2012 - Copenhagen, Denmark.-2012 pp. 1–10
6. smimport //MathWorks. Help Center [сайт].-URL <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ref/smimport.html> (дата обращения 23.06.2021)

Корнаев Алексей Валерьевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева», г Орёл
доктор технических наук,
профессор кафедры мехатроники,
механики и робототехники,
старший научный сотрудник
НОЦ Интеллектуальных
технологий мониторинга и
диагностики
энергогенерирующего
оборудования
302020, г. Орел, Наугорское
шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: rusakor@inbox.ru

Шутин Денис Владимирович
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет имени
И.С. Тургенева», г Орёл
к.т.н, доцент кафедры мехатроники,
механики и робототехники (ОГУ им.
И.С. Тургенева),
302020, г. Орел, Наугорское шоссе,
29.
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: rover.ru@gmail.com.

Казakov Юрий Николаевич
ФГБОУ ВО «Орловский
государственный университет
имени И.С. Тургенева», г Орёл
студент
302020, г. Орел, Наугорское
шоссе, 29
Тел. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

A.V. KORNAEV, D.V. SHUTIN, Yu.N. KAZAKOV

CLASSICAL CONTROL SYSTEMS IN ADJUSTABLE LIQUID FRICTION SUPPORTS

Abstract: *The paper considers the application of classical control methods in rotary machines. The concept of a bearing assembly with a variable clearance geometry is presented. A mathematical model of a rotor on an active liquid friction bearing is presented. The results of modeling using a PI controller in order to minimize friction losses are presented. A method for improving the PI controller to improve the regulation process is proposed.*

Keywords: *controlled liquid friction bearings, liquid friction tapered bearings, modeling of liquid friction bearings, PI controller, classical control systems.*

BIBLIOGRAPHY

1. D. C. De Moraes and R. Nicoletti Hydrodynamic bearing with electromagnetic actuators: Rotor vibration control and limitations/ D. C. De Moraes and R. Nicoletti // Proc. ISMA 2010 - Int. Conf. Noise Vib. Eng. Incl. USD 2010, pp. 3715–3721
2. D. S. Alves, M. F. Wu, and K. L. Cavalca Application of gain-scheduled vibration control to nonlinear journal-bearing supported rotor/ D. S. Alves, M. F. Wu, and K. L. Cavalca // J. Sound Vib.-2019. vol. 442, pp. 714–737, doi: 10.1016/j.jsv.2018.11.027.
3. J. Tůma, J. Šimek, J. Škuta, and J. Los Active vibrations control of journal bearings with the use of piezoactuators/ J. Tůma, J. Šimek, J. Škuta, and J. Los // Mech. Syst. Signal Process.-2013. vol. 36, no. 2, pp. 618–629, doi: 10.1016/j.ymsp.2012.11.010.
4. [I. F. Santos and F. Y. Watanabe Compensation of cross-coupling stiffness and increase of direct damping in multirecess journal bearings using active hybrid lubrication: Part i-theory/ I. F. Santos and F. Y. Watanabe // J. Tribol.-2004. vol. 126, no. 1, pp. 146–155, doi: 10.1115/1.1631015.
5. Ilmar Santos, Stefano Morosi Experimental investigations of active air bearings/Ilmar Santos, Stefano Morosi // ASME Turbo Expo 2012 - Copenhagen, Denmark.-2012 pp. 1–10
6. smimport //MathWorks. Help Center [сайт].-URL <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ref/smimport.html> (дата обращения 23.06.2021)

Kornaev Alexey Valerievich
Orel State University named after I.S.
Turgenev, Orel
Doctor of Sciences in Technology,
Professor at the Department of
Mechatronics, Mechanics, and
Robotics, Senior Researcher of
Scientific Educational Center
Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power
generating equipment
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: rusakor@inbox.ru

Shutin Denis Vladimirovich
Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel
Docent of Department of
mechatronics, mechanics and
robotics,
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29.
E-mail: rover.ru@gmail.com.

Kazakov Yuri Nikolaevich
Orel State University named after
I.S. Turgenev, Orel
Student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse,
29
Ph. 8 (4862) 41 98 49
E-mail: kazakyurii@yandex.ru

А.Ю. РОДИЧЕВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ, А.В. ГОРИН, М.А. ТОКМАКОВА, И.В. РОДИЧЕВА

АНАЛИЗ И ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ МЕХАТРОННОГО ПОДШИПНИКА С КОНТРОЛИРУЕМЫМ ИЗНОСОМ

Аннотация. В работе кратко изложены результаты анализа контролируемых подшипников, основанный на существующих изобретениях. Изложены предпосылки и представлена концепция мехатронного подшипника скольжения с контролируемым износом. Приведена структурно-функциональная схема мехатронного подшипника скольжения с контролируемым износом. В основу предлагаемой концепции положены механическая система, а так же система контроля и управления. Выявлено конструктивное решение обеспечивающее контроль зазора и износ в подшипнике скольжения. Описаны принципиальная схема и структурная схема системы управления мехатронного подшипника скольжения с контролируемым износом. Даны рекомендации по дальнейшему развитию и применению концепции мехатронного подшипника скольжения.

Ключевые слова: мехатроника, подшипник, скольжение, система управления, параметры, износ.

Выше представленные материалы получены при работе над проектом в рамках Постановления Правительства РФ №218 «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств» по договору на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ №4869-2081 от 19 апреля 2021 г. с ЗАО «ЭЛСИЭЛ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C.R. Burrows, P.S. Keogh and M.N. Sahinkaya, "Прогресс в направлении интеллектуальных вращающихся машин благодаря использованию активных подшипников", Proc. IMechE. Part C: J. Машиностроение, том. 223, 11 с., 2009. DOI: 10.1243/09544062JMES1487.
2. И.И. Сидоренко Управление жесткостью механических систем при помощи виброизолирующих устройств с обратной связью // Труды Одесского политехнического университета. - 2005. - №2(24). - С. 30-34.
3. Кинематика и долговечность подшипников качения машин и приборов / И.С. Цитович [и др.]; под ред. П.И. Ящерицына. – Минск: Наука и техника, 1977. – 176 с.
4. Коровчинский, М. В. Теоретические основы работы подшипников скольжения / М. В. Коровчинский – М.: Машгиз, 1959. – 404 с.
5. А.С. 1346863 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Зайцев В.П.; №3286401; заявл. 07.05.1981; Оpubл. 23.10.1987.
6. А.С. 1617222 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Глинин Л.В.; №4470558; заявл. 05.08.1988; Оpubл. 30.12.1990.
7. А.С. 1444570 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Глинин Л.В.; №4204002; заявл. 27.02.1987; Оpubл. 15.12.1988.
8. А.С. 1286844 СССР, МКП F16C 17/24. Подшипник скольжения / Поклонов С.В., Орлов А.Г., Юдкин М.И.; №3866983; заявл. 11.03.1985; Оpubл. 30.01.1987.
9. А.С. 727886 СССР, МКП F16C 17/24, G01M 13/04. Устройство для определения износа подшипников скольжения / Жаворонков В.М., Ошерова Е.А., Поликарпова Т.С.; №2651127; заявл. 26.07.1978; Оpubл. 15.04.1980.
10. А.С. 474646 СССР, МКП F16C 17/24. Сигнализатор износа подшипника скольжения / Попов И.К.; №1921868; заявл. 15.05.1973; Оpubл. 25.06.1975.
11. А.С. 684189 СССР, МКП F16C 17/24. Устройство для определения износа подшипника скольжения / Заикин Б.И., Украинский В.А.; №2589340; заявл. 14.03.1978; Оpubл. 05.09.1979.
12. Патент 2398142 Российская Федерация, С1, МПК: F16C 17/02 Мехатронный подшипник скольжения. / Савин Л.А., Поляков Р.Н.; №2009118718/11; заявл. 18.05.2009; Оpubл. 27.08.2010; Бюл. №24.
13. Патент 2750542 Российская Федерация С1, МПК: F16C 17/02 Мехатронный подшипник скольжения. / Новиков А.Н., Родичев А.Ю., Поляков Р.Н.; Горин А.В. №20202132615; заявл. 23.09.2020; Оpubл. 29.06.2021; Бюл. №19.

Родичев Алексей Юрьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
канд. техн. наук, доцент кафедры сервиса и ремонта машин
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79534145257
E-mail: rodfox@yandex.ru

Поляков Роман Николаевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79038819381

Горин Андрей Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
Канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79102600267

E-mail: romanpolak@mail.ru

E-mail: gorin57@mail.ru

Токмакова Мария Андреевна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.

Тургенева»,

аспирант

302020, г.Орёл, Наугорское шоссе,
29

Тел. +7910 2600267

E-mail: mashagorina0908@gmail.com

Родичева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С.

Тургенева»

студент

302020, г.Орёл, Наугорское шоссе,
29

Тел. +7910 26000267

E-mail: rodfox@yandex.ru

A.Yu. RODICHEV, R.N. POLYAKOV, A.V. GORIN, M.A. TOKMAKOVA, I.V. RODICHEVA

ANALYSIS AND PREREQUISITES FOR THE CREATION OF A MECHATRONIC BEARING WITH CONTROLLED WEAR

Abstract. *The paper summarizes the results of the analysis of controlled bearings based on existing inventions. The prerequisites are outlined and the concept of a mechatronic sliding bearing with controlled wear is presented. A structural and functional diagram of a mechatronic sliding bearing with controlled wear is given. The proposed concept is based on a mechanical system, as well as a control and management system. A constructive solution providing clearance control and wear in the sliding bearing is revealed. The schematic diagram and block diagram of the control system of a mechatronic sliding bearing with controlled wear are described. Recommendations are given for the further development and application of the mechatronic sliding bearing concept.*

Keywords: *mechatronics, bearings, slides, control system, parameters, wear.*

BIBLIOGRAPHY

1. C.R. Burrows, P.S. Keogh and M.N. Sahinkaya, "Progress towards intelligent rotating machines through the use of active bearings," Proc. IMechE. Part C: J. Mechanical Engineering, vol. 223, 11 p., 2009. DOI: 10.1243 / 09544062JMES1487.
2. I.I. Sidorenko Control of the rigidity of mechanical systems using vibration isolating devices with feedback // Proceedings of the Odessa Polytechnic University. - 2005. - No. 2 (24). - S. 30-34.
3. Kinematics and durability of rolling bearings of machines and devices / I.S. Tsitovich [and others]; ed. P.I. Lizard. - Minsk: Science and technology, 1977.-- 176 p.
4. Korovchinsky, M. V. Theoretical foundations of sliding bearings / M. V. Korovchinsky - M.: Mashgiz, 1959. - 404 p.
5. A. S. 1346863 of the Soviet Union, Inc F16C 17/24. Bearing / Zaytsev V. P.; No. 3286401; Appl. 07.05.1981; Publ. 23.10.1987.
6. A. S. 1617222 of the Soviet Union, Inc F16C 17/24. Bearing slides / Glinin L. V.; No. 4470558; Appl. 05.08.1988; Publ. 30.12.1990.
7. A. S. 1444570 of the Soviet Union, Inc F16C 17/24. Bearing slides / Glinin L. V.; No. 4204002; Appl. 27.02.1987; Publ. 15.12.1988.
8. A. S. 1286844 of the Soviet Union, Inc F16C 17/24. Bearing / Bows S. V., Orlov A. G., Utkin M. I.; No. 3866983; Appl. 11.03.1985; Publ. 30.01.1987.
9. A.S. 727886 USSR, MKP F16C 17/24, G01M 13/04. A device for determining wear of plain bearings / lark V. M., Osherova E. A., Polikarpov TS.; No. 2651127; Appl. 26.07.1978; Publ. 15.04.1980.
10. A. S. 474646 of the Soviet Union, Inc F16C 17/24. The indicator of wear of the bearing / Popov I. K.; No. 1921868; Appl. 15.05.1973; Publ. 25.06.1975.
11. A. S. 684189 of the Soviet Union, Inc F16C 17/24. A device for determining the wear of a sliding bearing / Zaikin B.I., Ukrainsky V.A.; No. 2589340; application 14.03.1978; Publ. 05.09.1979.
12. Patent 2398142 Russian Federation, C1, IPC: F16C 17/02 Mechatronic sliding bearing. / Savin L.A., Polyakov R.N.; No.2009118718/11; application No. 18.05.2009; Publ. 27.08.2010; Byul. No. 24.
13. Patent 2750542 Russian Federation C1, IPC: F16C 17/02 Mechatronic sliding bearing. / Novikov A.N., Rodichev A.Yu., Polyakov R.N.; Gorin A.V. No.20202132615; application 23.09.2020; Publ. 29.06.2021; Byul. No. 19.

Rodichev Alexey Yurevich
Orel State University
candidate of technical Sciences,
associate Professor of the Department
service and repair of cars
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79534145257
E-mail: rodfox@yandex.ru

Polyakov Rman Nikolaevich
Orel State University named after I.S.
Turgenev
doctor of technical Sciences, associate
professor of the department
mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: ++79038819381
E-mail: romanpolak@mail.ru

Gorin Andrey Vladimirovich
Orel State University
candidate of technical Sciences,
associate Professor of the
Department mechatronics,
mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe
Shosse, 29
Ph.: +79102600267

Tokmakova Maria Andreevna
Orel State University named after I.S.
Turgenev
graduate student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: mashagorina0908@gmail.com

Rodicheva Irina Vladimirovna
Orel State University named after I.S.
Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79122600267
E-mail: rodfox@yandex.ru

УДК 532.5

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-119-123

А.В. КОРНАЕВ, Р.Н. ПОЛЯКОВ, К.К. НАСТЕПАНИН, А.С. ФЕТИСОВ

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ОПОР РОТОРНЫХ МАШИН ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аннотация: В статье предложена концепция бесконтактной системы диагностики состояния опор жидкостного трения роторных машин на основе данных инфракрасных изображений опоры. Данные получены в ходе физического эксперимента по исследованию четырех состояний роторной машины. Помимо нормального состояния, исследовались три неисправных состояния, при которых наблюдалось некоторое возрастание поперечных колебаний ротора. Интеллектуальная система диагностики, основанная на глубоких сверточных нейронных сетях, продемонстрировала точность выявления неисправного состояния до 90%. При этом точность экспертов составила не более 51%.

Ключевые слова: подшипники скольжения, роторные машины, глубокое обучение, диагностика неисправностей.

Работа выполнена в рамках проекта «Создание цифровой системы мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технического оборудования с применением технологии искусственного интеллекта на базе отечественных аппаратных и программных средств» по договору на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ №4869-2081 от 19 апреля 2021 г. с ЗАО «ЭЛСИЭЛ»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feng Z, Liang M, Chu F. Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: a review with application examples. *Mech Syst Signal Process* 2013;38 (1):165–205.
2. Li Y, Wang X, Si S, Huang S. Entropy based fault classification using the case western reserve university data: a benchmark study. *IEEE Trans Reliab* 2019. (2019-03-07)[2019-03-28]. Available from: <https://doi.org/10.1109/TR.2019.2896240>.
3. Wang Z, Du W, Wang J, Zhou J, Han X, Zhang Z, et al. Research and application of improved adaptive momeda fault diagnosis method. *Measurement* 2019;140:63–75.
4. Wang Z, He W, Du W, Zhou J, Han X, Wang J, et al. Application of parameter optimized variational mode decomposition method in fault diagnosis of gearbox. *IEEE Access* 2019;7:44871–82.
5. Li Y, Wang X, Liu Z, Liang X, Si S. The entropy algorithm and its variants in the fault diagnosis of rotating machinery: a review. *IEEE Access* 2018;6:66723–41.
6. Zhang C, Harne RL, Li B, Wang K. Statistical quantification of dc power generated by bistable piezoelectric energy harvesters when driven by random excitations. *J Sound Vib* 2019;442:770–86.
7. Zhang C, Liu Y, Wan F, Chen B, Liu J, Hu B. Multi-faults diagnosis of rolling bearings via adaptive customization of flexible analytical wavelet bases. *Chinese J Aeronautics* 2019. (2019-03-25) [2019-03-28]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.014>.
8. Li Y, Li G, Yang Y, Liang X, Xu MA. fault diagnosis scheme for planetary gearboxes using adaptive multi-scale morphology filter and modified hierarchical permutation entropy. *Mech Syst Signal Process* 2018;105:319–37.
9. Zhao M, Lin J. Health assessment of rotating machinery using a rotary encoder. *IEEE Trans Ind Electron* 2017;65(3):2548–56.

Корнаев Алексей Валерьевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
доктор техн. наук, доцент кафедры мехатроники,
механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: rusakor@inbox.ru

Поляков Роман Николаевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»,
доктор техн. наук, зав. кафедрой мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

Настепакин Кирилл Константинович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел,
студент кафедры мехатроники,

Фетисов Александр Сергеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел

механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Младший научный сотрудник ПНИЛ
«Интеллектуальные технологии мониторинга и
диагностики энергогенерирующего оборудования»
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

A.V. KORNAEV, R.N. POLYAKOV, K.K. NASTEPANIN, A.S. FETISOV

DIAGNOSTICS OF ROTOR SYSTEM DEFECTS BASED ON THERMOGRAMS OBTAINED WITH THE INFRARED CAMERA

Abstract. *The article proposes the concept of a non-contact system for diagnosing the state of the support-liquid application of rotary machines based on the data of infrared images of the support. The data was obtained during a natural experiment on the study of a quadrangular rotary machine. In addition to the normal state, triaffective states were found, in which cases of the prevalence of transverse oscillations of the rotor frequency were observed. An intelligent diagnostic system built on the basis of convolutional neural networks has demonstrated the accuracy of detecting state disorders up to 90%. In this case, the probability of probability is not more than 51%.*

Keywords: *plain bearings, neural networks, bearing diagnostics, rotor defects.*

BIBLIOGRAPHY

1. Feng Z, Liang M, Chu F. Recent advances in time-frequency analysis methods for machinery fault diagnosis: a review with application examples. *Mech Syst Signal Process* 2013;38 (1):165–205.
2. Li Y, Wang X, Si S, Huang S. Entropy based fault classification using the case western reserve university data: a benchmark study. *IEEE Trans Reliab* 2019. (2019-03-07)[2019-03-28]. Available from: <https://doi.org/10.1109/TR.2019.2896240>.
3. Wang Z, Du W, Wang J, Zhou J, Han X, Zhang Z, et al. Research and application of improved adaptive momeda fault diagnosis method. *Measurement* 2019;140:63–75.
4. Wang Z, He W, Du W, Zhou J, Han X, Wang J, et al. Application of parameter optimized variational mode decomposition method in fault diagnosis of gearbox. *IEEE Access* 2019;7:44871–82.
5. Li Y, Wang X, Liu Z, Liang X, Si S. The entropy algorithm and its variants in the fault diagnosis of rotating machinery: a review. *IEEE Access* 2018;6:66723–41.
6. Zhang C, Harne RL, Li B, Wang K. Statistical quantification of dc power generated by bistable piezoelectric energy harvesters when driven by random excitations. *J Sound Vib* 2019;442:770–86.
7. Zhang C, Liu Y, Wan F, Chen B, Liu J, Hu B. Multi-faults diagnosis of rolling bearings via adaptive customization of flexible analytical wavelet bases. *Chinese J Aeronautics* 2019. (2019-03-25) [2019-03-28]. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.014>.
8. Li Y, Li G, Yang Y, Liang X, Xu MA. fault diagnosis scheme for planetary gearboxes using adaptive multi-scale morphology filter and modified hierarchical permutation entropy. *Mech Syst Signal Process* 2018;105:319–37.
9. Zhao M, Lin J. Health assessment of rotating machinery using a rotary encoder. *IEEE Trans Ind Electron* 2017;65(3):2548–56.

Kornaev Alexey Valerievich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the
department of mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: rusakor@inbox.ru

Nastepanin Kirill Konstantinovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student of department mechatronics, mechanics and
robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: nastepanin02@mail.ru

Polyakov Rman Nikolaevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, associate professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: romanpolak@mail.ru

Fetisov Alexander Sergeevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
Junior Researcher, PNIL "Intelligent technologies for
monitoring and diagnostics of power generating
equipment"
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
E-mail: fetisov57rus@mail.ru

Л.А. САВИН, Д.Л. КОЗЫРЕВ, А.В.ГОРИН, Н.В. ТОКМАКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ РЫЧАЖНОЙ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В статье представлен краткий анализ негативных вибрационных воздействий на человека. Приведена схема применения рычажной релаксационной виброзащитной системы интегрированной в сиденье автомобиля. Математически описана работа механической релаксационной рычажной виброзащитной системы. Приведена оптимизация параметров рассматриваемой виброзащитной системы. Описан алгоритм работы механической релаксационной рычажной виброзащитной системы. Сделаны выводы и приведены рекомендации по формированию алгоритма работы фрикционного демпфера.

Ключевые слова: фрикционный демпфер, виброзащита, рычажная подвеска, релаксация, управление, мехатронная система.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусаров, В.И. Виброзащитные механизмы переменного демпфирования систем железнодорожного транспорта / В.И. Гусаров, А.В. Ковтунов, О.П. Мулюкин; под ред. О.П. Мулюкина. – Самара: СамГАСП, 2004. – 178 с.
2. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин/Г.А. Смирнов.– М.: Машиностроение, 1990.–352 с.
3. Климов, А.В. Динамика рычажной релаксационной подвески с прерывистым демпфированием: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / А.В. Климов. – Орел, 2001. – 115 с.
4. Климов, А.В. Влияние массы рычага на динамические характеристики рычажной релаксационной виброзащитной системы / А.В. Климов // Сб. науч. тр., Т.9. – Орел: ОрелГТУ, 1997. – С.156-158.
5. Белозерова, Е.Б. Повышение эффективности виброизоляции виброактивного оборудования за счет прерывистого демпфирования: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / Е.Б. Белозерова. – Орел, 2012. – 184 с.
6. Герман-Галкилин, С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК/С.Г. Герман-Галкилин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
7. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
8. Бабаков И.М. Теория колебаний / М.: Дрофа, 2004. – 591 с.

Савин Леонид Алексеевич
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
доктор техн. наук, профессор кафедры мехатроники,
механики и робототехники
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79102600267
E-mail: savin3257@mail.ru

Козырев Дмитрий Леонидович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
Учебный мастер
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79606489922
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Горин Андрей Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
канд. техн. наук, доцент кафедры мехатроника,
механика и робототехника
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +7910 2600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Токмаков Никита Владимирович
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
студент
302020, г.Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79606489922
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

L.A. SAVIN, D.L. KOZYREV, A.V. GORIN, N.V. TOKMAKOV

MODELING AND OPTIMIZATION OF MECHANICAL RELAXATION LEVER VIBRATION PROTECTION SYSTEM

Abstract. The article presents a brief analysis of negative vibration effects on humans. The scheme of application of the lever relaxation vibration protection system integrated into the car seat is given. The operation of a mechanical relaxation lever vibration protection system is mathematically described. Optimization of the parameters of the considered vibration protection system is given. The algorithm of operation of a mechanical relaxation lever vibration protection system is described. Conclusions are drawn and recommendations are given on the formation of an algorithm for the operation of a friction damper.

Keywords: friction damper, vibration protection, link suspension, relaxation, control, mechatronic system.

BIBLIOGRAPHY

1. Gusarov, V.I. Vibration protection mechanisms of variable damping of railway transport systems / V.I. Gusarov, A.V. Kovtunov, O. P. Mulyukin; ed. O.P. Mulyukina. - Samara: SamGASP, 2004.-- 178 p.
2. Smirnov, G.A. The theory of movement of wheeled vehicles / G.A. Smirnov. - M.: Mechanical Engineering, 1990. - 352 p.
3. Klimov, A.V. Dynamics of a lever relaxation suspension with intermittent damping: dis.... Cand. tech. Sciences: 01.02.06 / A.V. Klimov. - Orel, 2001.-- 115 p.
4. Klimov, A.V. The influence of the lever mass on the dynamic characteristics of the lever relaxation vibration protection system / A.V. Klimov // Sat. scientific. tr., T.9. - Orel: Orel State Technical University, 1997.-- S.156-158.
5. Belozerova, E.B. Improving the efficiency of vibration isolation of vibroactive equipment due to intermittent damping: dis.... Cand. tech. Sciences: 01.02.06 / E.B. Belozerov. - Orel, 2012.-- 184 p.
6. Herman-Galkiln, S.G. Matlab & Simulink. Design of mechatronic systems on a PC / S.G. Herman-Galkiln. - SPb.: KORONA-Vek, 2008.-- 368 p.
7. Friden, J. Modern sensors. Handbook / J. Friden. - M.: Technosphere, 2005.-- 592 p.
8. Babakov I.M. Theory of oscillations / M.: Bustard, 2004. - 591 p.

Savinin Leonid Alekseevich

Orel State University named after I.S. Turgenev
doctor of technical Sciences, professor of the
department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: savin3257@mail.ru

Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
candidate of technical Sciences, associate professor of
the department mechatronics, mechanics and robotics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102600267
E-mail: gorin57@mail.ru

Kozyrev Dmitriy Leonidovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
training master
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79606489922
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

Tokmakov Nikita Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev
student
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +79102606508
E-mail: stalker.20122@yandex.ru

УДК 629.4.021

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-130-138

В.И. ВОРОБЬЕВ, О.В. ДОРОФЕЕВ, О.В. ИЗМЕРОВ,
С.Н. ЗЛОБИН, А.А. ПУГАЧЕВ, Е.В. НИКОЛАЕВ

РАЗВИТИЕ КЛАССИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ ЛОКОМОТИВОВ

Аннотация. Рассмотрена задача создания новых методов получения патентоспособных конструкций тяговых приводов железнодорожных локомотивов. В результате анализа установлено, что ранее предложенная классификация тяговых приводов требует дополнения в связи с появлением нового признака группировки по степени интеграции. Предложена расширенная классификация тяговых приводов, включающая в себя дополнительный уровень группировки по данному признаку.

Ключевые слова: проблемы создания новой техники, теория знаний, синтез технических решений, тяговый привод подвижного состава железных дорог, классификация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава: статья / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин. – Оrel: Госуниверситет - УНПК, 2012. – №4 (39) 2012, – С. 53-60.
2. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Оrel: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 234 с.
3. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов [Текст] + [Электронный ресурс] / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголева. – Брянск: БГТУ, 2015, С. 241-248.
4. Агрегатная компоновка тягового привода для тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / В.И. Воробьев, О.В. Измеров // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголева, В.И. Воробьева. – Брянск: БГТУ, 2019. – С. 42-46.

5. Патент на полезную модель № 196906, СПК В61С 9/48 (2019.08); В60К 7/0007 (2019.08); В60К 2007/0092 (2019.08). Электромотор-колесо / Воробьев В.И., Измеров О.В., Пугачев А.А., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 19.03.2020, бюл. № 8.
6. Патент на полезную модель № 164732, Российская Федерация, МПК В61С 9/38, В61С 9/48. Тяговый привод локомотива [Текст] / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Космодамианский А.С., Бондаренко Д.А., Новиков В.Г., Измеров О.В., Пугачев А.А. Оpubл. 10.09.2016, бюл. № 20.
7. Патент на полезную модель № 178949, Российская Федерация, СПК В61С 9/48 2006.01. Тяговый привод локомотива / Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Корчагин В.О., Маслов М.А., Пугачев А.А., Воробьев Д.В., Новиков А.С., Шорохов С.Г. Оpubл. 23.04.2018, бюл. № 12.
8. Патент на полезную модель № 177073, Российская Федерация, СПК В61С 9/38, Н02К 21/00, Н02К 29/06, В60L 2200/26. Тяговый привод локомотива. / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Воробьев Д.В., Измеров О.В., Новиков А.С., Шорохов С.Г., Бондаренко Д.А., Космодамианский А.С., Сеницын С.В., Сеницына Т.П. Оpubл. 07.02.2018, бюл. № 4.
9. Патент на полезную модель № 164797, Российская Федерация, МПК В61С 9/48. Тяговый привод локомотива [Текст] / Воробьев В.И., Измеров О.В., Новиков В.Г., Вдовин А.В., Бондаренко Д.А., Новиков А.С., Воробьев Д.В. Оpubл. 20.09.2016, бюл. № 26.
10. Патент на полезную модель № 176845, Российская Федерация, МПК В61С 9/48, В61С 15/00, В60L 9/02. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Измеров О.В., Новиков А.С., Пугачев А.А., Бондаренко Д.А., Шорохов С.Г. Оpubл. 30.01.2018, бюл. № 4.
11. Патент на полезную модель № 189364, СПК В61С 15/08 (2013.01). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Космодамианский А.С., Измеров О.В., Маслов М.А., Копылов С.О. Оpubл. 21.05.2019, бюл. № 15.
12. Патент на полезную модель № 190846, СПК В61С 9/48 (2019.05); В60L 2200/26 (2019.05). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 15.07.2019, бюл. № 20.
13. Патент на полезную модель № 200670, СПК В61С 9/48 (2020.08); В61С 9/50 (2020.08). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О. Оpubл. 05.11.2020, бюл. № 31.
14. Патент на полезную модель № 166920, Российская Федерация, МПК В61С 9/38, В61С 9/48. Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Новиков В.Г., Космодамианский А.С., Новиков А.С., Цыганков А.Г., Измеров О.В., Борисов А.А., Пугачев А.А. Оpubл. 10.12. 2016, бюл. № 34.

Воробьев Владимир Иванович
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Подвижной
состав железных дорог»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Дорофеев Олег Васильевич
Университет «Синергия», г.
Москва
Кандидат технических наук,
доцент,
директор департамента цифровой
экономики
E-mail: da_shy@inbox.ru

Измеров Олег Васильевич
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Соискатель по кафедре
«Подвижной состав железных
дорог»
E-mail: izmerov@yandex.ru

Злобин Сергей Николаевич
Орловский государственный
университет имени И.С.
Тургенева, г. Орел
Кандидат технических наук,
доцент кафедры машиностроения
E-mail: zsn2@rambler.ru

**Пугачев Александр
Анатольевич**
Брянский государственный
технический университет, г.
Брянск
Доктор технических наук,
заведующий кафедрой
«Промышленная электроника и
электроника»
E-mail: alexander-
pugachev@rambler.ru

**Николаев Евгений
Владимирович**
Российский университет
транспорта, г. Москва
Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Тяговый подвижной состав»

V.I. VOROBYEV, O.V. DOROFEEV, O.V. IZMEROV,
S.N. ZLOBIN, A.A. PUGACHEV, E.V. NIKOLAEV

DEVELOPMENT OF CLASSIFICATION OF THE MECHANICAL PART OF TRACTION DRIVES OF LOCOMOTIVES

Abstract. The problem of creating new methods for obtaining patentable designs of traction drives for railway locomotives is considered. As a result of the analysis, it was found that the previously proposed classification of traction drives needs to be supplemented due to the emergence of a new sign of grouping according to the degree of integration. An extended classification of traction drives is proposed, which includes an additional level of grouping according to this feature.

Keywords: *problems of creating new technology, theory of knowledge, synthesis of technical solutions, traction drive of rolling stock of railways, classification.*

BIBLIOGRAPHY

1. Izmerov, O.V. Klassifikatsiya kak instrument sinteza mekhanicheskoy chasti tyagovykh privodov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: stat'ya / O.V. Izmerov, G.S. Mikhailchenko // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2012. – №4 (39) 2012, – S. 53-60.
2. Kiberneticheskiye aspekty metodov sinteza elektromekhanicheskikh sistem: monografiya / O.V. Izmerov [i dr.]; pod red. akademika Akademii elektrotekhn. nauk Ros. Federatsii, d-ra tekhn. nauk, prof. A.S. Kosmodamianskogo. – Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2015. – 234 s.
3. Obshchiye printsipy klassifikatsii mekhanicheskoy chasti tyagovykh privodov lokomotivov [Tekst] + [Elektronnyy resurs] / V.I. Vorob'yev, O.V. Izmerov, A.A. Pugachev, D.A. Bondarenko // Sovershenstvovaniye energeticheskikh mashin: sb. nauch. tr. / pod red. V.V. Rogalova. – Bryansk: BGTU, 2015, S. 241-248.
4. Agregatnaya komponovka tyagovogo privoda dlya teplovoza s povyshennoy nagruzkoy na os' / V.I. Vorob'yev, O.V. Izmerov // Sovershenstvovaniye transportnykh mashin: sb. nauch. tr. / pod red. V.V. Rogaleva, V.I. Vorob'yeva. – Bryansk: BGTU, 2019. – S. 42-46.
5. Patent na poleznuyu model' № 196906, SPK B61C 9/48 (2019.08); B60K 7/0007 (2019.08); B60K 2007/0092 (2019.08). Elektromotor-koleso / Vorob'yev V.I., Izmerov O.V., Pugachev A.A., Kosmodamianskiy A.S., Kapustin M.YU., Strekalov N.N., Samotkanov A.V., Shevchenko D.N., Korchagin V.O. Opubl. 19.03.2020, byul. № 8.
6. Patent na poleznuyu model' № 164732, Rossiyskaya Federatsiya, MPK V61S 9/38, V61S 9/48. Tyagovyy privod lokomotiva [Tekst] / Antipin D.YA., Vorob'yev V.I., Kosmodamianskiy A.S., Bondarenko D.A., Novikov V.G., Izmerov O.V., Pugachev A.A. Opubl. 10.09.2016, byul. № 20.
7. Patent na poleznuyu model' № 178949, Rossiyskaya Federatsiya, SPK V61S 9/48 2006.01. Tyagovyy privod lokomotiva / Antipin D.YA., Vorob'yev V.I., Izmerov O.V., Korchagin V.O., Maslov M.A., Pugachev A.A., Vorob'yev D.V., Novikov A.S., Shorokhov S.G. Opubl. 23.04.2018, byul. № 12.
8. Patent na poleznuyu model' № 177073, Rossiyskaya Federatsiya, SPK B61C 9/38, H02K 21/00, H02K 29/06, B60L 2200/26. Tyagovyy privod lokomotiva. / Vorob'yev V.I., Antipin D.YA., Vorob'yev D.V., Izmerov O.V., Novikov A.S., Shorokhov S.G., Bondarenko D.A., Kosmodamianskiy A.S., Sinitsyn S.V., Sinitsyna T.P. Opubl. 07.02.2018, byul. № 4.
9. Patent na poleznuyu model' № 164797, Rossiyskaya Federatsiya, MPK B61C 9/48. Tyagovyy privod lokomotiva [Tekst] / Vorob'yev V.I., Izmerov O.V., Novikov V.G., Vdovin A.V., Bondarenko D.A., Novikov A.S., Vorob'yev D.V. Opubl. 20.09.2016, byul. № 26.
10. Patent na poleznuyu model' № 176845, Rossiyskaya Federatsiya, MPK B61C 9/48, B61C 15/00, B60L 9/02. Tyagovyy privod lokomotiva / Vorob'yev V.I., Antipin D.YA., Izmerov O.V., Novikov A.S., Pugachev A.A., Bondarenko D.A., Shorokhov S.G. Opubl. 30.01.2018, byul. № 4.
11. Patent na poleznuyu model' № 189364, SPK V61S 15/08 (2013.01). Tyagovyy privod lokomotiva / Vorob'yev V.I., Antipin D.YA., Kosmodamianskiy A.S., Izmerov O.V., Maslov M.A., Kopylov S.O. Opubl. 21.05.2019, byul. № 15.
12. Patent na poleznuyu model' № 190846, SPK V61S 9/48 (2019.05); B60L 2200/26 (2019.05). Tyagovyy privod lokomotiva / Vorob'yev V.I., Izmerov O.V., Kosmodamianskiy A.S., Kapustin M.YU., Strekalov N.N., Samotkanov A.V., Shevchenko D.N., Korchagin V.O. Opubl. 15.07.2019, byul. № 20.
13. Patent na poleznuyu model' № 200670, SPK B61C 9/48 (2020.08); B61C 9/50 (2020.08). Tyagovyy privod lokomotiva / Vorob'yev V.I., Izmerov O.V., Kosmodamianskiy A.S., Kapustin M.YU., Strekalov N.N., Samotkanov A.V., Shevchenko D.N., Korchagin V.O. Opubl. 05.11.2020, byul. № 31.
14. Patent na poleznuyu model' № 166920, Rossiyskaya Federatsiya, MPK B61C 9/38, B61C 9/48. Tyagovyy privod lokomotiva / Vorob'yev V.I., Novikov V.G., Kosmodamianskiy A.S., Novikov A.S., Tsygankov A.G., Izmerov O.V., Borisov A.A., Pugachev A.A. Opubl. 10.12. 2016, byul. № 34.

Vorobyev Vladimir Ivanovich
Bryansk State Technical University,
Bryansk
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor at the
Department of «Railroad rolling
stock»
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Dorofeev Oleg Vasilyevich
Synergy University, Moscow
Candidate of technical sciences,
Director of the Department of
Digital Economy
E-mail: da_shy@inbox.ru

Izmerov Oleg Vasilevich
Bryansk State Technical University,
Bryansk
Competitor of the Department
«Railroad rolling stock»
E-mail: izmerov@yandex.ru

Zlobin Sergey Nikolaevich
Orel State university, Orel
Candidate of technical sciences,
Associate Professor at the
Department of «Mechanical
engineering»

Pugachev Alexander Anatolievich
Bryansk State Technical University,
Bryansk
Doctor of Technical Sciences, Head
of the Department of Industrial
Electronics and Electronics

Nikolaev Evgeny Vladimirovich
Russian University of Transport,
Moscow
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the
Department "Tractive rolling stock"

ПРИБОРЫ, БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 615.471+681.784.8

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-139-147

Н.В. ГОЛУБОВА, В.В. ДРЁМИН, Е.В. ПОТАПОВА, А.В. ДУНАЕВ

МУЛЬТИМОДАЛЬНАЯ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРФУЗИИ И МЕТАБОЛИЗМА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Аннотация. Внедрение оптических методов в практику проведения малоинвазивных лапароскопических вмешательств представляется весьма перспективным благодаря способности данных методов распознавать наличие перфузионных и микроциркуляторных нарушений *in vivo*. В работе предложена экспериментальная многопараметрическая лапароскопическая система с тремя каналами: флуоресцентной, гиперспектральной, а также лазерной спекл-контрастной визуализации. Проведенные измерения на биообъекте позволили провести тестирование системы и определить её чувствительность к изменению скорости движения крови, а также к изменению кровенаполнения и сатурации при моделировании ишемии посредством окклюзии. В работе описаны результаты, полученные при регистрации данных в трех каналах мультимодальной системы при проведении окклюзионного теста.

Ключевые слова: оптические методы, лапароскопия, лазерная спекл-контрастная визуализация, флуоресцентная визуализация, гиперспектральная визуализация.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №21-15-00325).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здравоохранение в России. 2019: Статистический сборник. – М.: Росстат, 2019. – 170 с.
2. Kassahun, W.T. Unchanged high mortality rates from acute occlusive intestinal ischemia: six year review / W.T. Kassahun, T. Schulz, O. Richter, J. Hauss // *Langenbeck's archives of surgery*, 2008. – 393 (2). – P. 163–171.
3. Тимербулатов, В.М. Острое нарушение мезентериального кровообращения / В.М. Тимербулатов, В.Г. Сахатудинов, Ш.В. Тимербулатов, Р.А. Смыр, А.М. Саргсян // *Эндоскопическая хирургия*, 2016. – 22 (3). – С. 44–49.
4. Затевахин, И.И. Абдоминальная хирургия. Национальное руководство : краткое издание / ред. И.И. Затевахин, А.И. Кириенко, В.А. Кубышкин. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 912 с.
5. Родин, А.В. Интраоперационная оценка жизнеспособности кишки при острой кишечной непроходимости / А.В. Родин, В.Г. Плешков // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*, 2016. – 15 (1). – С. 75–82.
6. Bigio, I.J., Mourant, J.R. "Biopsy: Optical". *Encyclopedia of Optical and Photonic Engineering*, Second Edition. – CRC Press, 2015. – P. 1-16.
7. Белавенцева, А.В. Диагностика физиологических процессов в живых тканях методом оптической визуализации пульсаций крови / А.В. Белавенцева, Ю.Н. Кульчин, Р.В. Ромашко, Т.С. Запорожец, Е.В. Персиянова, Л.П. Ляхова, А.А. Камшилин // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*, 2019. – 62 (3). – С. 266-271.
8. Дунаев, А.В. Метод и устройство оценки функционального состояния микроциркуляторно-тканевых систем организма человека на основе мультипараметрической оптической диагностики // *Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника*, 2020. – 23 (4). – С. 77-91.
9. Дунаев, А.В. Принципы построения технических средств мультипараметрической оптической диагностики для оценки функционального состояния микроциркуляторно-тканевых систем // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2020. – 344 (6). – С. 131-140.
10. Dremin, V. Multimodal optical measurement for study of lower limb tissue viability in patients with diabetes mellitus / V. Dremin, E. Zhrebtsov, V. Sidorov, A. Krupatkin, I. Makovik, A. Zhrebtsova, E. Zharkikh, E. Potapova, A. Dunaev, A. Doronin, A. Bykov, I. Rafailov, K. Litvinova, S. Sokolovski, E. Rafailov // *Journal of Biomedical Optics*, 2017. – 22 (8). – P. 1-10.
11. Potapova, E. Laser speckle contrast imaging of blood microcirculation in pancreatic tissues during laparoscopic interventions / E. Potapova, E. Seryogina, V. Dremin, D. Stavtsev, I. Kozlov, E. Zhrebtsov, A. Mamoshin, Yu. Ivanov, A. Dunaev // *Quantum Electronics*, 2020. – 50 (1). – P. 33-40.

12. Kandurova K. Application of the fluorescence spectroscopy for the analysis of the state of abdominal cavity organs tissues in mini-invasive surgery / K. Kandurova, V. Dremmin, E. Zherebtsov, E. Potapova, A. Dunaev, A. Mamoshin, A. Alyanov, V. Muradyan // Proceedings Volume 10685, Biophotonics: Photonic Solutions for Better Health Care VI, 2018. – P. 171.

13. Шуплецов, В.В. Оценка изменения кровенаполнения и сатурации методом гиперспектральной визуализации / В.В. Шуплецов, М.А. Мезенцев, И.О. Козлов, В.В. Дремин // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXVII Междунар. науч.-техн. конф., 14 – 20 сентября 2018 г., Алушта. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – С. 249–250.

14. Boas, D.A. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics / D.A. Boas, A.K. Dunn // Journal of Biomedical Optics, 2010. – 15 (1). – P. 11109.

15. Тучин, В.В. Оптическая биомедицинская диагностика: в 2-х т.: учебное издание / В.В. Тучин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 559 с.

16. Lu, G. Medical hyperspectral imaging: a review / G. Lu., B. Fei // Journal of Biomedical Optics, 2014. – 19 (1). – P. 10901.

17. Zherebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks / E. Zherebtsov, V. Dremmin, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // Biomedical optics express, 2019. – 10 (7). – P. 3545–3559.

18. Dremmin, V. Skin Complications of Diabetes Mellitus Revealed by Polarized Hyperspectral Imaging and Machine Learning / V. Dremmin, Z. Marcinkevics, E. Zherebtsov, A. Popov, A. Grabovskis, H. Kronberga, K. Geldnere, A. Doronin, I. Meglinski, A. Bykov // IEEE transactions on medical imaging, 2021. – 40 (4). – P. 1207–1216.

Голубова Надежда Владимировна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Россия
Студент кафедры ПМиС Института
приборостроения, автоматизации и информационных
технологий, стажер-исследователь Научно-
технологического центра биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-4862-41-98-76
E-mail: nadin.golubova@inbox.ru

Дремин Виктор Владимирович

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Россия
Кандидат технических наук, старший научный
сотрудник Научно-технологического центра
биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-4862-41-98-37
E-mail: dremmin_viktor@mail.ru

Потапова Елена Владимировна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Россия
Кандидат технических наук, доцент, старший
научный сотрудник Научно-технологического центра
биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-4862-41-98-37
E-mail: potapova_ev_ogu@mail.ru

Дунаев Андрей Валерьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл,
Россия
Кандидат технических наук, доцент, ведущий
научный сотрудник Научно-технологического
центра биомедицинской фотоники
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Тел.: +7-4862-41-98-37
E-mail: inohvat@yandex.ru

N.V. GOLUBOVA, V.V. DREMIN, E.V. POTAPOVA, A.V. DUNAEV

MULTIMODAL LAPAROSCOPIC SYSTEM FOR BIOLOGICAL TISSUE PERFUSION AND METABOLISM ASSESSMENT

Abstract. *The introduction of optical methods into the practice of minimally invasive laparoscopic interventions seems to be very promising due to the ability of these methods to recognize the presence of perfusion and microcirculatory disorders in vivo. The paper proposes an experimental multi-parameter laparoscopic system with three channels: fluorescence, hyperspectral, and laser speckle contrast imaging. The measurements carried out on the biological object made it possible to test the system and determine its sensitivity to a change in the speed of blood movement, as well as to a change in blood volume and saturation when simulating ischemia by means of occlusion. The paper describes the results obtained when registering data in three channels of a multimodal system during an occlusion test.*

Keywords: *optical techniques, laparoscopy, laser speckle contrast imaging, fluorescence imaging, hyperspectral imaging.*

BIBLIOGRAPHY

1. Zdravookhranenie v Rossii. 2019: Statisticheskii sbornik. – М.: Rosstat, 2019. – 170 s.
2. Kassahun, W.T. Unchanged high mortality rates from acute occlusive intestinal ischemia: six year review /

- W.T. Kassahun, T. Schulz, O. Richter, J. Hauss // *Langenbeck's archives of surgery*, 2008. – 393 (2). – P. 163–171.
3. Timerbulatov, V.M. Ostroe narushenie mezenterial'nogo krovoobrashcheniya / V.M. Timerbulatov, V.G. Sakhaudtinov, Sh.V. Timerbulatov, R.A. Smyr, A.M. Sargsyan // *Endoskopicheskaya khirurgiya*, 2016. – 22 (3). – S. 44–49.
4. Zatevakhin, I.I. Abdominal'naya khirurgiya. Natsional'noe rukovodstvo : kratkoe izdanie / red. I.I. Zatevakhin, A.I. Kirienko, V.A. Kubyshevskiy. – M.: GEOTAR-Media, 2016. – 912 s.
5. Rodin, A.V. Intraoperatsionnaya otsenka zhiznesposobnosti kishki pri ostroi kishechnoi neprokhodimosti / A.V. Rodin, V.G. Pleshkov // *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii*, 2016. – 15 (1). – S. 75–82.
6. Bigio, I.J., Mourant, J.R. "Biopsy: Optical". *Encyclopedia of Optical and Photonic Engineering*, Second Edition. – CRC Press, 2015. – P. 1–16.
7. Belaventseva, A.V. Diagnostika fiziologicheskikh protsessov v zhivyykh tkanyakh metodom opticheskoi vizualizatsii pul'satsii krovi / A.V. Belaventseva, Yu.N. Kul'chin, R.V. Romashko, T.S. Zaporozhets, E.V. Persyanova, L.P. Lyakhova, A.A. Kamshilin // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Priborostroenie*, 2019. – 62 (3). – S. 266–271
8. Dunaev, A.V. Metod i ustroystvo otsenki funktsional'nogo sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkaneykh sistem organizma cheloveka na osnove mul'tiparametricheskoi opticheskoi diagnostiki // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii Rossii. Radioelektronika*, 2020. – 23 (4). – S. 77–91.
9. Dunaev, A.V. Printsipy postroyeniya tekhnicheskikh sredstv mul'tiparametricheskoi opticheskoi diagnostiki dlya otsenki funktsional'nogo sostoyaniyamikrotsirkulyatorno-tkaneykh sistem // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2020. – 344 (6). – S. 131–140.
10. Dremine, V. Multimodal optical measurement for study of lower limb tissue viability in patients with diabetes mellitus / V. Dremine, E. Zharebtsov, V. Sidorov, A. Krupatkin, I. Makovik, A. Zharebtsova, E. Zharkikh, E. Potapova, A. Dunaev, A. Doronin, A. Bykov, I. Rafailov, K. Litvinova, S. Sokolovski, E. Rafailov // *Journal of Biomedical Optics*, 2017. – 22 (8). – P. 1–10.
11. Potapova, E. Laser speckle contrast imaging of blood microcirculation in pancreatic tissues during laparoscopic interventions / E. Potapova, E. Seryogina, V. Dremine, D. Stavtsev, I. Kozlov, E. Zharebtsov, A. Mamoshin, Yu. Ivanov, A. Dunaev // *Quantum Electronics*, 2020. – 50 (1). – P. 33–40.
12. Kandurova K. Application of the fluorescence spectroscopy for the analysis of the state of abdominal cavity organs tissues in mini-invasive surgery / K. Kandurova, V. Dremine, E. Zharebtsov, E. Potapova, A. Dunaev, A. Mamoshin, A. Alyanov, V. Muradyan // *Proceedings Volume 10685, Biophotonics: Photonic Solutions for Better Health Care VI*, 2018. – P. 171.
13. Shupletsov, V.V. Otsenka izmeneniya krovenapolneniya i saturatsii metodom giperspektral'noi vizualizatsii / V.V. Shupletsov, M.A. Mezentshev, I.O. Kozlov, V.V. Dremine // *Sovremennye tekhnologii v zadachakh upravleniya, avtomatiki i obrabotki informatsii: sb. tr. XXVII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.*, 14 – 20 sentyabrya 2018 g., Alushta. Tambov: Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2018. – S. 249–250.
14. Boas, D.A. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics / D.A. Boas, A.K. Dunn // *Journal of Biomedical Optics*, 2010. – 15 (1). – P. 11109.
15. Tuchin, V.V. Opticheskaya biomeditsinskaya diagnostika: v 2-kh t.: uchebnoe izdanie / V.V. Tuchin. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 559 s.
16. Lu, G. Medical hyperspectral imaging: a review / G. Lu., B. Fei // *Journal of Biomedical Optics*, 2014. – 19 (1). – P. 10901.
17. Zharebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks / E. Zharebtsov, V. Dremine, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // *Biomedical optics express*, 2019. – 10 (7). – P. 3545–3559.
18. Dremine, V. Skin Complications of Diabetes Mellitus Revealed by Polarized Hyperspectral Imaging and Machine Learning / V. Dremine, Z. Marcinkevics, E. Zharebtsov, A. Popov, A. Grabovskis, H. Kronberga, K. Geldnere, A. Doronin, I. Meglinski, A. Bykov // *IEEE transactions on medical imaging*, 2021. – 40 (4). – P. 1207–1216.

Golubova Nadezhda Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
Russia
Student of the «Instrumentation, metrology and
certification» department, research assistant of Research
and Development Center of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7-4862-41-98-76
E-mail: nadin.golubova@inbox.ru

Potapova Elena Vladimirovna

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
Russia
Ph.D., senior researcher of Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7-4862-41-98-37

Dremine Victor Vladimirovich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
Russia
Ph.D., senior researcher of Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7-4862-41-98-37
E-mail: dremine_viktor@mail.ru

Dunaev Andrey Valer'evich

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel,
Russia
Ph.D., leading researcher of Research and Development
Center of Biomedical Photonics
302020, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Ph.: +7-4862-41-98-37

Я.Н. ГАЙНУЛЛИНА, Е.В. ПАШКОВ, М.И. КАЛИНИН, В.П. ПОЛИВЦЕВ,
П.К. СОПИН, А.А. ЧЕТВЁРКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены результаты медико – биологических, технических и конструкторско – технологических работ по реализации и изготовлению систем жизнеобеспечения биологических объектов, предназначенных для эксплуатации в условиях нормобарии и гипербарии. Областью применения являются морские глубоководные исследования и некоторые специальные разделы медицины.

Ключевые слова: жидкостное дыхание, глубоководные исследования, системы жизнеобеспечения, гипербария, новые технологии, ребризер, биологические объекты.

Работа выполнена при поддержке программы Приоритет-2030 Севастопольского государственного университета (стратегический проект №2 "Прорывные исследования и разработки в области жидкостного дыхания")

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милн П. Подводные инженерные исследования – Л.: Судостроение, 1984. – 340 с.
2. Дубровский В.И. Биомеханика / В.И. Дубровский, В.Н. Федорова – М.: Владос Пресс, 2008. – 671 с.
3. Вознесенский А.И. Проблемы исследования и освоения Мирового океана – Л.: Судостроение, 1979. – 407 с.
4. Brahtz J.F. Ocean engineering – NY, 1991. – 319 с.
5. Боровиков П.А. Проблемы подготовки подводных специалистов / М.И. Гирс, А.Е. Коваленко, А.М. Подражанский – Л.: Судостроение, 1989. – 399 с.
6. Дмитриев А.Н. Обитаемые подводные аппараты: состояние и перспективы развития – Л.: Судостроение, 1999. – 361 с.
7. Боровиков П.А. Обживание человеком морских глубин. Системы жизнеобеспечения – Л.: Судостроение, 1989. – 403 с.
8. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности – М.: Высшая школа, 2002. – 265 с.
9. Поливцев В.П., Круговой А.Н., Калинин М.И., Поливцев В.В. Исследование технологий жидкостного дыхания для удаления азота из организма биообъекта посредством информационно – измерительной системы // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Матер. междунар. научн.–техн. конф. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. – 2021. – № 6 – С. 172–185.
10. Гайнуллина Я.Н., Пашков Е.В., Калинин М.И., Поливцев В.П. Развитие технологий жидкостного дыхания для обеспечения длительных глубоководных исследований // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Матер. междунар. научн.–техн. конф. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. – 2021. – № 6 – С. 194 – 199.
11. Пат. 202283 Российской Федерации на полезную модель, МПК А61М 16/00, А61G 10/. Установка для жидкостного дыхания в условиях гипербарии/ Пашков Е.В., Поливцев В.П., Поливцев В.В., Калинин М.И.; заявитель и патентообладатель Фонд перспективных исследований. – № 2020130505; заявл. 16.09.2020; опубл. 06.04.2021. Бюл. № 4. – 10 с.
12. Warner S.A. Diving fatalities led to correct ve achion – Ocean Indystry, 1997. – vol. 12, № 4 – P. 124 – 126.

Гайнуллина Яна Николаевна
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
Научный сотрудник
лаборатории
«Экспериментальные системы
жизнеобеспечения
биологических объектов» г.
Севастополь,
ул. Университетская, 33
тел. +7(8692) 545-023
e-mail: medeya-ru@yandex.ru

Пашков Евгений Валентинович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Приборные
системы и автоматизация
технологических процессов»
г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692)550-077
e-mail: pashkov@sevsu.ru

Калинин Михаил Иванович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
кандидат технических наук, доцент,
руководитель группы лаборатории
«Экспериментальные системы
жизнеобеспечения биологических
объектов»
г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692) 545-023
e-mail: kalininsev@mail.ru

Поливцев Виктор Петрович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
«Экспериментальные системы
жизнеобеспечения
биологических объектов»
г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692) 545-023
e-mail:
polivcev.viktor@yandex.ru

Сопин Павел Константинович
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
Старший научный сотрудник
лаборатории «Экспериментальные
системы жизнеобеспечения
биологических объектов»
г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692) 545-023
pavel.sopin@gmail.com

Четвёркин Александр Алексеевич
ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»,
руководитель группы лаборатории
«Экспериментальные системы
жизнеобеспечения биологических
объектов»
г. Севастополь, ул.
Университетская, 33
тел. +7(8692) 545-023
chetvyorkin14@yandex.ru

Ya.N. GAINULLINA, E.V. PASHKOV, M.I. KALININ, V.P. POLIVTSEV,
P.K. SOPIN, A.A. CHETVERKIN

INVESTIGATION OF THE OPERABILITY OF ELEMENTS OF LIFE SUPPORT SYSTEMS OF BIOLOGICAL OBJECTS IN THE IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGIES LIQUID BREATHING

Abstract. *The paper considers the results of biomedical, technical and design - technological work on the implementation and manufacture of life support systems for biological objects intended for operation in nomobaria and hyperbaria. The field of application is marine deep-sea research and some special fields of medicine, biological objects.*

Keywords: *liquid respiration, deep-sea research, life support systems, hyperborea, new technologies, rebreather.*

BIBLIOGRAPHY

1. Miln P. Podvodnie inzenernie issledovaniya – Leningrad: Sydstroenie, 1984. – 340 s.
2. Dybrovskiy V.I. Biomehanika / V.I. Dybrovskiy, V.N. Fedorova – M.: Vldos Press, 2008. – 671 s.
3. Voznesenskiy A.I. Problemi issledovaniya i osvoinie Mirpovogo okeana – L.: Sydstroenie, 1979. – 407 s.
4. Brahtz J.F. Ocean engineering – NY, 1991. – 319 c.
5. Bobrovikov P.A. Problemi podgotovki podvodnih spetsialistov / M.I. Girs, A.E. Kovalenko, A.M. Podrazanskiy – L.: Sydstroenie, 1989. – 399 s.
6. Dmitriev A.N. Obitaemie podvodnie apparati: sostoyanie i perspektivi razvitiya – L.: Sydstroenie, 1999. – 361 s.
7. Borovikov P.A. Obzivanje chelovekom morskikh glybin. Sistemi zizneobespecheniya – L.: Sydstroenie, 1989. – 403 s.
8. Samyl' V.I. Osnovi teorii yprygosti i plastichnosti – M.: Vishaya shkola, 2002. – 265 s.
9. Polivtsev V.P., Krygovoy A.N., Kalinin M.I. Polivtsev V.V. Isslenovanie tehnologiy zidkostnogo dihaniya dlya ydaleniya azota iz organizma bioob'ekta posredstvom informatcionno - izmeritel'noy sistemi // Fyndamental'nie I prikladnie problem tehniki i tehnologii: Mater.mezlynar.naychno – tehn.konf. – Orel: OGY im. I.S. Tyrgeneva. – 2021. - №6 – S. 172 – 185.
10. Gaynullina Ya.N., Pashkov E.V., Kalinin M.I., Polivtsev V.P. Razvitie tehnologiy zidkostnogo dihaniya dlya obespecheniya dlitel'nih glybokovodnih issledovaniy Fyndamental'nie I prikladnie problem tehniki i tehnologii: Mater.mezlynar.naychno – tehn.konf. – Orel: OGY im. I.S. Tyrgeneva. – 2021. - №6 – S. 194 – 199.
11. Pat. 202283 Rossiyskaya Federatsiya na poleznyu model, MPK A61M 16/00, A61G 10/. Ystanovka dlya zidkostnogo dihaniya v yslaviyah giperbarii / Pashkov E.V., Polivtsev V.P., Polivtsev V.V., Kalinin M.I.; zayavitel i patentoobladatel Fond perspektivnih issledovaniy. – № 2020130505; zayavl. 16.09.2020; opubl. 06.04.2021. Byul. № 4. – 10 s.
12. Warner S.A. Diving fatalities led to correct action – Ocean Indystry, 1997. – vol. 12, № 4 – P. 124 – 126.

Gaynullina Yana Nikolaevna
Sevastopol State University,
Head of the Laboratory Group
"Experimental Life Support
Systems for Biological Objects"
Sevastopol, Str. University, 33,
tel. +7(8692) 545-023
E-mail: medeya-ru@yandex.ru

Pashkov Yevgeny Valentinovich
Sevastopol State University,
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department
«Instrument Systems and automation
of technological processes »
Sevastopol, Str. University, 33,
tel. +7(8692) 550-007
E-mail: pashkov@sevsu.ru

Kalinin Mikhail Ivanovich
Sevastopol State University,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Head of the
laboratory group " Experimental Life
Support Systems for Biological
Objects»Sevastopol, Str. University,
33,
tel. +7(8692) 545-023
E-mail: kalininsev@mail.ru

Polivtsev Viktor Petrovich
Sevastopol State University,
Candidate of Technical Sciences, Head of the
Laboratory " Experimental life
Support systems for Biological
Objects»,
Sevastopol, Str. University, 33,
tel. +7(8692) 545-023
E-mail: polivtsev.viktor@yandex.ru

Sopin Pavel Konstantinovich
Sevastopol State University,
Senior researcher of the laboratory
"Experimental life support systems of
biological objects"
Sevastopol, Universitetskaya str., 33
tel. +7(8692) 545-023
E-mail: pavel.sopin@gmail.com

Chetverkin Alexander Alekseevich
Sevastopol State University,
Head of the laboratory group
"Experimental Life Support systems
of biological objects"
Sevastopol, Universitetskaya str., 33
tel. +7(8692) 545-023
E-mail: chetvyorkin14@yandex.ru

УДК:004.89

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-154-158

А.М. ДЕНГАЕВ, З.М. ДАЙЗИЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Аннотация. Проведено исследование применения структурного подхода к проектированию интеллектуальной системы прогнозирования заболеваний. Рассмотрены задачи формализации и структуризации данных на примере заболевания алопеции. Отмечено, что задача применения системного подхода в проектировании интеллектуальной системы прогнозирования заболеваний, как одна из основных задач разработки и развития интеллектуальной медицинской системы, требует поиска индивидуального алгоритма решения в зависимости от конкретной ситуации, для которой могут быть характерны неопределенность и динамичность исходных данных и знаний.

Ключевые слова: структурный подход, интеллектуальная система, проектирование, прогнозирование заболеваний, формализация задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комков, А.А., Мазаев, В.П., Рязанова, С.В., Самочатов, Д.Н., Базаева, Е.В. Основные направления искусственного интеллекта в медицине. / А.А. Комков, В.П. Мазаев, С.В. Рязанова, Д.Н. Самочатов, Е.В. Базаева // Научное обозрение. Медицинские науки. – 2020. – С. 33–40.
2. Гусев, А.В., Добридюк, С.Л. Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении / А.В. Гусев, С. Л. Добридюк // Информационное общество. – 2017. – С. 78–83.
3. Карпов, О.Э., Клименко, Г.С., Лебедев, Г.С. Применение интеллектуальных систем в здравоохранении / О.Э. Карпов, Г.С. Клименко, Г.С. Лебедев // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – С. 38-43.
4. Денгаев, А.М. Математическое моделирование в задачах прогнозирования и диагностики заболеваний / А.М. Денгаев // Научные исследования: Итоги и перспективы. – 2021. – Т.2, №1. – С.43-49.
5. Норман Винарски. Как искусственный интеллект изменит здравоохранение через 5 лет. – 2017. – 8 с. URL: <https://rb.ru/story/future-of-ai-healthcare>. (дата обращения: 12.01.2022.).

Денгаев Ахмед Магомедович
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
технический университет», г. Махачкала, аспирант
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70

Дайзиев Запир Магомеднабиевич
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
технический университет», г. Махачкала, аспирант
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70

A.M. DENGAEV, Z.M. DAIZIEV

APPLICATION OF A STRUCTURAL APPROACH TO THE DESIGN OF AN INTELLIGENT DISEASE PREDICTION SYSTEM

Abstract. *A study of the application of a structural approach to the design of an intelligent disease prediction system has been conducted. The problems of formalization and structuring of data on the example of alopecia disease are considered. It is noted that the task of applying a systematic approach to the design of an intelligent disease prediction system, as one of the main tasks of the development and development of an intelligent medical system, requires the search for an individual solution algorithm depending on the specific situation, which may be characterized by uncertainty and dynamism of the initial data and knowledge.*

Keywords: *structural approach, intelligent system, design, disease prediction, task formalization.*

BIBLIOGRAPHY

1. Komkov, A.A., Mazaev, V.P., Ryazanova, S.V., Samochatov, D.N., Bazaeva, E.V. The main directions of artificial intelligence in medicine. / A.A. Komkov, V.P. Mazaev, S.V. Ryazanova, D.N. Samochatov, E.V. Bazaeva // Scientific Review. Medical sciences. – 2020. – pp. 33–40.
2. Gusev, A.V., Dobridnyuk, S.L. Artificial intelligence in medicine and healthcare / A.V. Gusev, S. L. Dobridnyuk // Information Society. – 2017. – pp. 78–83.
3. Karpov, O.E., Klimenko, G.S., Lebedev, G.S. Application of intelligent systems in healthcare / O.E. Karpov, G.S. Klimenko, G.S. Lebedev // Modern high-tech technologies. – 2016. – pp. 38–43.
4. DengaeV, A.M. Mathematical modeling in problems of forecasting and diagnosis of diseases / A.M. DengaeV // Scientific research: Results and prospects. – 2021. – Vol. 2, No. 1. – pp.43–49.
5. Norman Vinarski. How artificial intelligence will change healthcare in 5 years. - 2017. - 8 p. URL: <https://rb.ru/story/future-of-ai-healthcare> (accessed: 12.01.2022.).

DengaeV Ahmed Magomedovich
Dagestan State Technical University, Makhachkala,
postgraduate student 367026, Makhachkala, Imam
Shamil Ave., 70
Tel. (8722) 620064
E-mail: zakupki_dstu@mail.ru

Daiziev Zapir Magomednabievich
Dagestan State Technical University, Makhachkala,
postgraduate student 367026, Makhachkala, Imam
Shamil Ave., 70
Tel. (8722) 620064
E-mail: zakupki_dstu@mail.ru

КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 656.61.08

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-159-164

А.Ю. ГАРИШИН

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИАГНОСТИРУЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. *Разработана методика прогнозирования и определения причин изменения технического состояния диагностируемого технического средства на основе исследования зависимости вероятности возникновения аварийной ситуации с ним от условной вероятности его неправильного диагностирования с использованием функциональных структурных математических моделей процесса проверки работоспособности с восстановлением. Разработанные модели пригодны для оценки эффективности проверки работоспособности и восстановления различных технических объектов, влияющих на дальнейшее безопасное использование сложной эрготехнической системы в целом.*

Ключевые слова: *функциональные структурные модели, согласованные показатели безошибочности, времени, бездефектности и безаварийности, аварийноопасный дефект, аварийноопасная ошибка, техническое диагностирование.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаршин, А.Ю. Исследование процесса диагностирования и восстановления человеко-машинных систем путем анализа согласованных показателей безошибочности, времени, бездефектности и безаварийности / А.Ю. Гаршин // Научно-технический журнал «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» №3(317) 2016-4(318) 2016. Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2016. С. 199-203.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы. Исследование, проектирование, испытания. Справочник / Под общ. ред. А.И. Губинского, В.Г. Евграфова.- М.: Машиностроение, 1993. - 528 с.
3. Разработка методических рекомендаций по определению термостойкости электрооборудования и технических средств на ранних стадиях проектирования (шифр «Голиаф»): Отчет о НИР (промежуточн.) / Севастопольское ВВМИУ.- Севастополь, 1991. - 44с.
4. Расчет времени достижения критической температуры типовых корабельных технических средств при ступенчатом воздействии равномерного температурного поля пожара (шифр «Голиаф»): Отчет о НИР (заключительн.) / Севастопольское ВВМИУ. - Севастополь, 1991.- 44с.
5. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем. - 2-е изд. - Л.: Судостроение, 1971. - 456 с.
6. Харченко, В.С. Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения / В.С. Харченко. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2011. - 641 с.
7. Чабаненко П. П. Моделирование обучения операторов / Человек в измерениях XX века, т. 7 // Педагогика и образовательные системы XX столетия. – М.: Междунар. акад. проблем Человека в авиации и космонавтике. – 2005. – С. 431-459.

Гаршин Александр Юрьевич

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь
кандидат технических наук, доцент кафедры Энергоустановки морских судов и сооружений
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: aleksander.garshin@mail.ru

A.YU. GARSHIN

METHODS OF FORECASTING AND DETERMINING THE CAUSES OF CHANGES IN THE TECHNICAL CONDITION OF THE DIAGNOSED TECHNICAL MEANS IN DIFFICULT OPERATING CONDITIONS

Abstract. *A technique for forecasting and determining the causes of changes in the technical condition of the diagnosed ship technical means based on the study of the dependence of the probability of an emergency situation with technical means on the conditional probability of their incorrect diagnosis using functional structural mathematical models of the process of checking operability with restoration has been developed. The developed models are suitable for assessing the effectiveness of checking the operability and restoration of various technical objects that affect the further safe use of a complex ergotechnical system as a whole.*

Keywords: *functional structural models, agreed indicators of infallibility, time, absence of defects and accident-free, emergency dangerous defect, emergency dangerous error, technical diagnostics.*

BIBLIOGRAPHY

1. Garshin, A.YU. Issledovanie processa diagnostirovaniya i vosstanovleniya chelovekoma-shinnyh sistem putem analiza soglasovannyh pokazatelej bezoshibochnosti, vremeni, bezdefektnosti i bezavarijnosti / A.YU. Garshin // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii» №3(317) 2016-4(318) 2016. Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2016. С. 199-203.
2. Informacionno-upravlyayushchie cheloveko-mashinnye sistemy. Issledovanie, proektirovanie, ispytaniya. Spravochnik / Pod obshch. red. A.I. Gubinskogo, V.G. Evgrafova.- M.: Mashinostroyeniye, 1993. - 528 s.
3. Razrabotka metodicheskikh rekomendacij po opredeleniyu termostojkosti elektrooboru-dovaniya i tekhnicheskikh sredstv na rannih stadiyah proektirovaniya (shifr «Golif»): Otchet o NIR (promezhutochn.) / Sevastopol'skoe VVMIU.- Sevastopol', 1991. - 44s.
4. Raschet vremeni dostizheniya kriticheskoj temperatury tipovyh korabel'nyh tekhnicheskikh sredstv pri stupenchatom vozdeystvii ravnomernogo temperaturnogo polya pozhara (shifr «Golif»): Otchet o NIR (zaklyuchitel'n.) / Sevastopol'skoe VVMIU. - Sevastopol', 1991.- 44s.
5. Ryabinin I.A. Osnovy teorii i rascheta nadezhnosti sudovykh elektroenergeticheskikh sistem. - 2-e izd. - L.: Sudostroyeniye, 1971. - 456 s.
6. Harchenko, V.S. Bezopasnost' kriticheskikh infrastruktur: matematicheskie i inzhenernye metody analiza i obespecheniya / V.S. Harchenko. – Har'kov: Nacional'nyj aerokosmicheskij universitet im. N.E. Zhukovskogo «HAI», 2011. - 641 s.
7. CHabanenko P. P. Modelirovanie obucheniya operatorov / CHelovek v izmereniyah XX veka, t. 7 // Pedagogika i obrazovatel'nye sistemy XX stoletiya. – M.: Mezhdunar. akad. problem cheloveka v aviatsii i kosmonavtike. – 2005. – S. 431-459.

Garshin Aleksandr Yurievich

Sevastopol State University,
PhD, Associate Professor of the Department «Ship power plants and structures»,
Sevastopol, Universitetskaya, 33
E-mail: aleksander.garshin@mail.ru

УДК620.179.18

DOI: 10.33979/2073-7408-2022-351-1-165-170

И.К. ЦЫБРИЙ, Н.С. КОВАЛЬ, В.И. ИГНАТЕНКО, И.Л.ВЯЛИКОВ, А.Ю. РОДИЧЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ КОЭРЦИТИМЕТРА ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. Изделия из металлокерамических твердых сплавов как продукт порошковой металлургии имеют существенный недостаток – неоднородность структуры и свойств. Поэтому они должны подвергаться сплошному контролю качества. Наиболее перспективным являются методы неразрушающего контроля, основанные на измерении коэрцитивной силы изделия.

В работе проведен цикл экспериментов, позволивший сравнить соответствие точностных характеристик разработанного авторами коэрцитиметра требованиям к заданной действующими стандартами точности измерения коэрцитивной силы.

Проведенные исследования показали, что относительная погрешность измерений не превышает 5%, что подтверждает пригодность данного прибора для неразрушающего контроля качества спеченных твердых сплавов.

Ключевые слова: твердые сплавы, контроль качества, неразрушающий контроль, коэрцитиметр, относительная погрешность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: В 3 кн. Кн. 1: В.В. Клюев, В.Ф. Мужикский, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. Магнитные методы контроля. Кн. 2: В.Н. Филинов, А.А. Кеткович, М.В. Филинов. Оптический контроль. Кн. 3: В.И. Матвеев. Радиоволновой контроль. – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2006. – 832 с
2. Förster F., Stumm W., Application of magnetic and electromagnetic nondestructive test methods for measuring physical and technological material values // Materials Evaluation, 1975. V. 33. № 1. P. 515
3. Ананченко В.Н., Цыбрий И.К., Вяхирева Е.В., Головкин В. В. Информационно-измерительный комплекс для мониторинга качества ферромагнитных материалов. *Advanced Engineering Research*. 2006;6(4):311-317
4. Гоголинский К В и Сяско В А 2019 Актуальные метрологические и правовые вопросы неразрушающего контроля Физический журнал: Конф. Серия (IOP Publishing) 1379 012045 (doi:10.1088/1742-6596/1379/1/012045)
5. Бутенко В И, Лебедев В А, Коваль Н С, Цыбрий И К, Вяликов И Л и Прокопец Г. Неразрушающий контроль качества и техническая диагностика изделий машиностроения – Ростов-на-Дону, 2018. — 202 с.
6. Радченко В., Палумбо Д., Рынгач Н., Бобин К и Курлаев Н. 2019 Исследование влияния параметров теста на контрастность сигнала и точность определения размера дефекта ВГД // Конф. Серия: Материаловедение и инженерия (Красноярск) том 537 (издательство ИОР) 1019 012056 (doi:10.1088/1757-899X/1019/1/012056)
7. Симоненко, Н. И. Испытательный стенд для измерения магнитных характеристик твердых сплавов / Н. И. Симоненко, И. К. Цыбрий // Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: мат-лы 19-ой междунар. науч.-практ. конф. — Новочеркасск, 2018г. — С.127–131.
8. Цыбрий И.К., Вяликов И.Л., Игнатенко В.И. Информационно-измерительный комплекс для неразрушающего контроля качества твердых сплавов. *Advanced Engineering Research*. 2018;18(4):421-425. (<https://doi.org/10.23947/1992-5980-2018-18-4-421-425>)
9. ГОСТ 8.377-80. Материалы магнитомягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик. [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200014136>
10. ГОСТ 24916-81 Сплавы твердые спеченные. Метод определения коэрцитивной силы (с Изменением № 1) [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200010981>

11. Коэрцитиметр KOERZIMAT 1.097 НсJ. 67654-17: Методика поверки МП 28-261-2017 [Электронный ресурс] / МетрКонсалт. — Режим доступа: <http://www.all-pribors.ru/opisanie/67654-17-koerzimat-1-097-hsj-77206>

Цыбрий Ирина Константиновна

Донской государственный технический университет
канд. техн. наук, доцент кафедры приборостроения и
биомедицинской инженерии
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Тел. 8 (863) 2-738-518
E-mail: irconst@mail.ru

Коваль Николай Сергеевич

Донской государственный технический университет
канд. техн. наук, доцент кафедры приборостроения
и биомедицинской инженерии
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Тел. 8 9045066817
E-mail: koval-nc@mail.ru

Игнатенко Виталий Иванович

Донской государственный технический университет
канд. техн. наук, доцент кафедры приборостроения и
биомедицинской инженерии
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Тел. 8(863)2738572
E-mail: 79043421201@ya.ru

Вяликов Иван Леонидович

Донской государственный технический университет
канд. техн. наук, доцент кафедры приборостроения и
биомедицинской инженерии
344004, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Тел. 8(863)2738572
E-mail: vialikov@mail.ru

Родичев Алексей Юрьевич

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
канд. техн. наук, доцент кафедры сервиса и
ремонта машин
302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Тел. +79534145257
E-mail: rodfox@yandex.ru

I.K. TSYBRIY, N.S. KOVAL, V.I. IGNATENKO, I.L. VYALIKOV, A.Yu. RODICHEV

**DETERMINATION OF THE RELATIVE ERROR OF THE COERCIMETER
IN NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL
HARD ALLOY PRODUCTS**

Abstract. *Products from cermet hard alloys as a product of powder metallurgy have a significant drawback - the heterogeneity of the structure and properties. Therefore, they must be subjected to continuous quality control. The most promising are non-destructive testing methods based on measuring the coercive force of a product.*

In the work, a series of experiments was carried out, which made it possible to compare the compliance of the accuracy characteristics of the coercimeter developed by the authors with the requirements for the accuracy of measuring the coercive force specified by the current standards.

The conducted studies have shown that the relative measurement error does not exceed 5%, which confirms the suitability of this device for non-destructive quality control of sintered hard alloys.

Keywords: *hard alloys, quality control, non-destructive testing, coercimeter, relative error.*

BIBLIOGRAPHY

1. Nerazrushayushchiy kontrol': Spravochnik: V 8 t. / Pod obshch. red. V.V. Klyuyeva. T. 6: V 3 kn. Kn. 1: V.V. Klyuyev, V.F. Muzhitskiy, E.S. Gorkunov, V.Ye. Shcherbinin. Magnitnyye metody kontrolya. Kn. 2: V.N. Filinov, A.A. Ketkovich, M.V. Filinov. Opticheskiy kontrol'. Kn. 3: V.I. Matveyev. Radiovolnovoy kontrol'. — 2-ye izd., ispr. — M.: Mashinostroyeniye, 2006. — 832 s
2. Förster F., Stumm W., Application of magnetic and electromagnetic nondestructive test methods for measuring physical and technological material values // Materials Evaluation, 1975. V. 33. № 1. P. 515
3. Ananchenko V.N., Tsybriy I.K., Vyakhireva Ye.V., Golovkin V. V. Informatsionno-izmeritel'nyy kompleks dlya monitoringa kachestva ferromagnitnykh materialov. Advanced Engineering Research. 2006;6(4):311-317
4. Gogolinskiy K V i Syasko V A 2019 Aktual'nyye metrologicheskiye i pravovyye voprosy nerazrushayushchego kontrolya Fizicheskiy zhurnal: Konf. Seriya (IOP Publishing) 1379 012045 (doi:10.1088/1742-6596/1379/1/012045)
5. Butenko V I, Lebedev V A, Koval' N S, Tsybriy I K, Vyalikov I L i Prokopets G. Nerazrushayushchiy kontrol' kachestva i tekhnicheskaya diagnostika izdeliy mashinostroyeniya — Rostov-na-Donu, 2018. — 202 s.

6. Radchenko V., Palumbo D., Ryngach N., Bobin K i Kurlayev N. 2019 Issledovaniye vliyaniya parametrov testa na kontrastnost' signala i tochnost' opredeleniya razmera defekta VGD / / Konf. Seriya: Materialovedeniye i inzheneriya (Krasnoyarsk) tom 537 (izdatel'stvo IOP) 1019 012056 (doi:10.1088/1757-899X/1019/1/012056)
7. Simonenko, N. I. Ispytatel'nyy stend dlya izmereniya magnitnykh kharakteristik tverdykh splavov / N. I. Simonenko, I. K. Tsybriy // Fundamental'nyye osnovy, teoriya, metody i sredstva izmereniy, kontrolya i diagnostiki: materialy 19-oy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. — Novocherkassk, 2018g. — S.127–131.
8. Tsybriy I.K., Vyalikov I.L., Ignatenko V.I. Informatsionno-izmeritel'nyy kompleks dlya nerazrushayushchego kontrolya kachestva tverdykh splavov. Advanced Engineering Research. 2018;18(4):421-425. (<https://doi.org/10.23947/1992-5980-2018-18-4-421-425>)
9. GOST 8.377-80. Materialy magnitomyagkiye. Metodika vypolneniya izmereniy pri opredelenii staticheskikh magnitnykh kharakteristik. [Elektronnyy resurs] / Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. - Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200014136>
10. GOST 24916-81 Splavy tverdyye spechennyye. Metod opredeleniya koertsitivnoy sily (s Izmeneniyem № 1) [Elektronnyy resurs] / Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. - Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/1200010981>
11. Koertsitimetr KOERZIMAT 1.097 HcJ. 67654-17: Metodika poverki MP 28-261-2017 [Elektronnyy resurs] / MetrKonsalt. — Rezhim dostupa: <http://www.all-pribors.ru/opisanie/67654-17-koerzimat-1-097-hsj-77206>

Tsybriy Irina Konstantinovna

Don State Technical University
 cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of
 Instrumentation and Biomedical Engineering
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 Tel. 8 (863) 2-738-518
 E-mail: irconst@mail.ru

Koval Nikolai Sergeevich

Don State Technical University
 cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of
 Instrumentation and Biomedical Engineering
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 Tel. 8 9045066817
 E-mail: koval-nc@mail.ru

Ignatenko Vitaly Ivanovich

Don State Technical University
 cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of
 Instrumentation and Biomedical Engineering
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 Tel.8(863)2738572
 E-mail: 79043421201@ya.ru

Vyalikov Ivan Leonidovich

Don State Technical University
 cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of
 Instrumentation and Biomedical Engineering
 344004, Rostov-on-Don, pl. Gagarina, 1
 Tel. 8(863)2738572
 E-mail: vialikov@mail.ru

Rodichev Alexey Yurievich

Federal State Budgetary Educational Institution of
 Higher Education "OSU named after I.S. Turgenev"
 candyu. tech. Sciences, Associate Professor, Department
 of Service and Repair of Machines
 302020, Orel, Naugorskoe highway, 29
 Tel. +79534145257
 E-mail: rodfox@yandex.ru

Адрес издателя:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Тел. (4862) 75–13–18
<http://oreluniver.ru>
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орел, ул. Московская, 34
+7(920)2806645, +7(906)6639898
<http://oreluniver.ru>
E-mail: radsu@rambler.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор Тюхта А.В.
Компьютерная верстка Тюхта А.В.

Подписано в печать 28.02.2022 г.
Дата выхода в свет 18.03.2022 г.
Формат 70X108/16. Усл. печ. л. 10,6875
Цена свободная. Тираж 1000 экз.
Заказ №38

Отпечатано с готового оригинал–макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, Орловская область, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95